CONSEIL
DES
PRODUCTIONS
VÉGÉTALES
DU QUÉBEC

AGDEX 300/637

JOURNÉE D'INFORMATION SUR L'ACÉRICULTURE

8 mai 1986

Centre municipal des congrès

Québec

DÉPÉRISSEMENT DES ÉRABLIÈRES

CAHIER DE CONFÉRENCES
CAHIER DE CONFÉRENCES
CAHIER DE CONFÉRENCES

87-01939/

Cahier de
conférences

Journée d'information sur l'acériculture

8 mai 1986

Conseil des
productions
végétales
du
Québec

Gouvernement du Québec
Ministère de l'Agriculture,
des Pêcheries et de l'Alimentation

Dépôt légal
Bibliothèque nationale du Québec
2ième trimestre 1986
ISBN-2-550-16111-4

Table des matières

Page	
5	Mot du président de la journée François Gagnon, ing. f.
7	Allocution d'ouverture Réal Michaud, agr.
11	Le dépérissement des forêts, un problème international Michel Dessureault, ing. f.
21	Ampleur des dommages dans les Appalaches Clément Bordeleau
37	Impact socio-économique du dépérissement Lise Robitaille, ing. f.
47	Etat des recherches sur le dépérissement au ministère de l'Energie et des Ressources Gilles Gagnon et Gabriel Roy, ing. f.
57	Relation entre les sources d'émission des polluants précurseurs et les dépôts acides sur les milieux récepteurs Claude Lelièvre, météorologue
105	Dépérissement de l'érablière au Québec: rôle de la pollution atmosphérique Bernard Bernier, ing. f.
119	Dépérissement des érablières: des éléments de solution? Denis Lachance, ing. f.
127	Discours de clôture François Gagnon, ing. f.

MOT DU PRÉSIDENT DE LA JOURNÉE

Les érablières du Québec sont malades; est-ce un mythe ou la réalité? Se pourrait-il comme certains le prétendent, que le dépérissement actuel ne soit qu'un phénomène subi, passagé et localisé?

La plupart d'entre vous réunis ici, vous n'avez probablement jamais vu sur place une érablière en dépérissement. Vous connaissances du dossier, vous sont probablement venues des médias qui depuis le mois de septembre 1982 sont à l'affût de tout ce qui se dit sur le sujet.

Une brève revue de cette littérature nous indique que les déclarations et les opinions émises étaient fort disparates. Permettez-nous d'en mentionner quelques-unes à titre d'exemples:

- Le dépérissement dans les érablières, «y a rien là»; c'est normal, il y en a toujours eu et la situation actuelle n'a rien de nouveau.

- Les érables sont menacés par un nouveau champignon.

- Le dépérissement est uniquement dû à un phénomème climatologique (dégel hâtif de février 1981 et hiver doux avec peu de neige).

- Les érables malades, ce n'est qu'une question d'aménagement.

- Ce sont les épidémies d'insectes qui ont provoqué la mortalité de tant d'arbres.

- C'est une conséquence de la cueillette d'eau d'érable par tubulure et vacuum.

- Ce sont les pluies acides.

- et nous pourrions continuer...

Une telle énumération permet à chacun de ne retenir que l'explication qui le satisfait, qui rejoint sa marotte. Mais qu'en est-il exactement au-delà de toutes ces opinions?

Depuis l'été 1983, un petit groupe de spécialistes essaie, dans un premier temps, d'y voir plus clair et c'est justement l'objetif de cette rencontre aujourd'hui de transmettre aux participants les plus récentes analyses de ces professionnels.

Dans un deuxième temps, la recherche de correctifs agissant à court terme constitue une préoccupation majeure. Déjà quelques travaux sont amorcés et même s'ils démontrent des signes encourageants, il serait prématuré actuellement de proposer le remède «miracle».

Mesdames, Messieurs, il ne faut donc pas vous attendre à repartir ce soir avec la solution en poche. Vous assistez à une journée d'informations, qui, nous l'espérons, vous fera comprendre le problème, son envergure, sa ou ses causes prédominantes, son impact, ses conséquences possibles. Nous espérons aussi qu'étant ainsi sensibilité, qu'il y ait un regroupement des intervenants pour en venir à éliminer ou du moins restreindre le problème à sa source.

Je souhaite à tous une journée des plus fructueuse et intéressante.

FRANÇOIS GAGNON

Allocution d'ouverture

Conférence présentée le
8 mai 1986 lors de la
journée d'information
sur l'acériculture

Préparée par

Réal Michaud, agronome
Président du CPVQ
Agriculture Canada
Sainte-Foy

ALLOCUTION D'OUVERTURE

Réal Michaud
Président du C.P.V.Q.

Mesdames, Messieurs,

Il me fait extrêmement plaisir de vous souhaiter la plus cordiale bienvenue à l'occasion de cette journée d'information consacrée au problème de dépérissement des érablières.

On observe depuis quelques années, un mal curieux qui frappe, à des degrés divers, la majorité des érablières du Québec. Déjà, les pertes encourues sont fort importantes et les producteurs acéricoles sont de plus en plus inquiets. Les média d'information nous ont sensibilisés au problème. Des réunions d'information ont été tenues, un regroupement pour la survie des érablières a été formé. Malgré tout cela, l'inquiétude persiste. L'avenir de l'industrie de l'érable est-il mis en péril? A-t-on atteint le point de non-retour? Je ne saurais répondre.

Plusieurs facteurs ont été perçus comme responsables du dépérissement des érablières, entre autres le climat, les insectes, les sécheresses et précipitations, etc. Cependant, si ces facteurs peuvent ou ont pu concourir, en partie ou par interaction, à l'affaiblissement des arbres, la pollution atmosphérique demeure le facteur le plus souvent mentionné. A tout événement, je préfère laisser aux spécialistes la tâche de nous en dire plus à ce sujet.

Le phénomène du dépérissement des érablières est un problème que le Conseil des productions végétales du Québec (C.P.V.Q.) tient à coeur. Depuis trois ans déjà, le comité d'acériculture du C.P.V.Q., sous la présidence de Mme Lise Robitaille, coordonne la recherche faite sur le sujet par une équipe multidisciplinaire du MER et du MAPAQ. Ce même comité a accepté en fin d'année 1985, un mandat du MAPAQ l'enjoignant à établir une stratégie pour une politique d'action concernant le phénomène du dépérissement dans les érablières. Ce n'est donc pas par coïncidence si cette journée d'information est organisée par le comité d'acériculture du C.P.V.Q. en réponse à une demande expresse formulée par la Fédération des producteurs acéricoles du Québec.

Cette journée d'information marque une étape importante. Elle vise à faire le point et peut-être à apporter un éclairage neuf sur cette épineuse question du dépérissement. Après une prise de conscience générale du problème, il est temps d'en identifier les causes et d'essayer de les résoudre. Il ne fait aucun doute que les sujets traités aujourd'hui suscitent beaucoup d'intérêt. Plusieurs conférenciers, pour la plupart des spécialistes, vont venir nous faire part de leur expérience et faire le point sur l'état des connaissances. Ces contributions devraient nous amener, du moins je l'espère, à préciser des moyens d'action. Je profite de l'occasion pour insister sur la nécessité de poursuivre et d'intensifier les recherches car souvent seule la recherche peut apporter les réponses satisfaisantes.

Je tiens à féliciter les organisateurs de cette journée pour l'excellent travail accompli, un programme intéressant et très diversifié et un bon choix de conférenciers.

Je tiens aussi à remercier de façon chaleureuse les conférenciers et les animateurs qui ont accepté de participer à cette journée d'information.

A tous les participants, je souhaite une journée fructueuse en réflexion et en discussion.

En terminant, permettez-moi de citer Saint-Exupéry qui disait: "C'est le temps que tu consacres à ta rose qui rend ta rose si importante". Dans le cas présent, on doit plutôt dire à l'inverse: "C'est l'importance du problème du dépérissement des érablières qui mérite qu'on lui consacre toute notre attention".

Merci et bonne journée à tous.

Le dépérissement des forêts: un problème international

Conférence présentée le
8 mai 1986 lors de la
journée d'information
sur l'acériculture

Préparée par

Michel Dessureault, ing. f., Ph. D.
Faculté de Foresterie et
de géodésie
Université Laval
Sainte-Foy

Ce texte porte sur le dépérissement des arbres et des forêts dans le monde. A part quelques brèves mentions, il ne sera pas question du dépérissement des érablières au Québec car plusieurs des textes qui suivent traitent de ce sujet. J'aborderai dans l'ordre l'aspect conceptuel du dépérissement, les cas passés et récents de dépérissement dans le monde, l'étendue et la sévérité de deux cas actuels de dépérissement en Europe et en Amérique du Nord, les causes possibles de ces dépérissements et les remèdes qui ont été proposés jusqu'à maintenant.

NATURE DU DEPERISSEMENT

Les maladies des arbres ont en général une cause unique. La maladie hollandaise de l'orme est causée par un organisme vivant: il s'agit d'une maladie biotique. Une trop forte dose d'anhydride sulfureux peut tuer un arbre. Dans ce cas la cause est de nature physique: il s'agit d'une maladie abiotique. Le dépérissement, «Decline» pour les anglophones et «Waldsterben» pour les allemands, ne correspond ni à une maladie biotique ni à une maladie abiotique. C'est un concept qui a été développé par des pathologistes forestiers américains pour caractériser et expliquer la perte progressive de vigueur et la détérioration de la santé des arbres dans les cas où aucune cause normalement associée aux maladies biotiques ou abiotiques ne peut seule expliquer les effets observés. Le dépérissement est donc une maladie qui résulte de l'interaction de plusieurs causes, ou facteurs de stress, biotiques et abiotiques. Ces causes agissent de façon consécutive ou concomitante et leurs effets cumulatifs provoquent l'affaiblissement graduel et même la mort des arbres.

On regroupe les facteurs de stress responsables du dépérissement en trois catégories: les facteurs prédisposants, incitants et contribuants. Les facteurs prédisposants agissent à long terme et affaiblissent les arbres sans provoquer d'effets visibles mais ils les prédisposent à l'attaque des facteurs incitants. Les facteurs incitants sont des stress de courte durée mais beaucoup plus intenses que les facteurs prédisposants et auxquels les arbres en santé peuvent normalement résister. Le dépérissement devient visible sous l'effet des facteurs incitants: la cime et le système racinaire se détériorent et les arbres deviennent une proie facile pour les facteurs contribuants qui accélèrent le dépérissement et sont souvent mortels.

Le dépérissement est donc une maladie à causes multiples. Certains des facteurs de stress sont présents simultanément sur un vaste territoire. D'autres stress par contre, présents localement mais pas nécessairement au même moment, peuvent différer d'un peuplement à un autre et même d'un arbre à l'autre. Cela rend l'étude du dépérissement particulièrement difficile car, pour un même effet, la nature et l'intensité des facteurs de stress varient et ils peuvent agir de façon indépendante, additive, synergique ou antagoniste. Lorsque le dépérissement est spécifique à une essence, comme cela a souvent été le cas jusqu'à maintenant, on parle de dépérissement des arbres. Par contre lorsque toutes les essences sont touchées, comme c'est le cas de plusieurs dépérissements actuels, on parle de dépérissement des forêts. On devrait sans doute qualifier ces dépérissements de maladies de l'écosystème plutôt que de maladies d'arbres.

CAS PASSES OU RECENTS DE DEPERISSEMENT

Le dépérissement des arbres et des forêts est un phénomène qu'on retrouve un peu partout dans le monde. L'Europe et l'Amérique du Nord sont les continents où le problème a reçu le plus d'attention mais des cas de dépérissement sont rapportés en Amérique centrale près des grands centres urbains tels Mexico et Guatemala City et dans plusieurs parties de l'Océanie: à Hawaii, en Papouasie, en Nouvelle-Guinée, en Nouvelle-Zélande, en Tasmanie et en Australie. Loin d'être un phénomène nouveau, des cas de dépérissement sont rapportés depuis au moins 200 ans en Europe et un peu moins de 100 ans en Amérique du Nord.

On rapporte plusieurs épisodes de dépérissement du sapin en Allemagne depuis le milieu des années 1700; le dépérissement du chêne particulièrement en France depuis le début des années 1900; le dépérissement du pin sylvestre en Allemagne de l'Est et dans l'ouest de la Russie au début des années 1970 et le dépérissement du pin maritime sur la côte atlantique de la France depuis le début des années 1980.

En Amérique du Nord, nous connaissons le dépérissement du chêne dans plusieurs régions des Etats-Unis depuis le début du siècle et, de façon plus intense, depuis le milieu des années 1960; de l'érable à sucre surtout en milieu urbain dans le nord-est vers les années 1910, à nouveau au cours des années 1930 et finalement durant les années 1960; des pins jaune et à encens dans le sud-est des Etats-Unis depuis le début des années 1920; du pin blanc de l'ouest dans les Montagnes Rocheuses depuis 1929; du frêne d'Amérique dans le nord-est depuis les années 1930; du bouleau dans le nord-est entre le début des années 1940 et la fin des années 1960; du hêtre associé à la maladie corticale depuis le début des années 1940 dans le nord-est; des pins ponderosa et de Jeffrey en Californie depuis la fin des années 1950; du liquidambar dans le sud-est pendant les années 1950 et 1960; du pin blanc de l'est dans le nord-est depuis le début des années 1960; des pins du sud dans le sud-est des Etats-Unis depuis le milieu des années 1970; du magnolia dans le centre des Etats-Unis depuis 1976 et des pins rigide et jaune au New Jersey.

Le Québec a connu le dépérissement du frêne noir qui a fortement touché cette essence à partir de 1927; de l'érable à sucre dans le comté de Beauce en 1934; le dépérissement de la pruche du Canada depuis 1975 et le dépérissement de plusieurs espèces de chênes, du noyer cendré et du hêtre à grandes feuilles rapporté depuis 1983 dans l'Outaouais. Parmi les cas les plus importants observés au Québec, il y a deux cas déjà mentionnés à l'échelle de l'Amérique du Nord: soit le dépérissement du bouleau et la maladie corticale du hêtre. Des cas de dépérissement de l'érable à sucre ont été observés dans le nord du Wisconsin en 1956-57 et en Ontario en 1952, 1957-58 et 1976-77. Les érablières du nord-est de l'Ontario subissent depuis quelques années une nouvelle vague de dépérissement semblable à celle qui frappe présentement les érablières du Québec. L'érable à sucre dépérit aussi dans le nord du Vermont depuis quelque temps.

CAS ACTUELS DE DEPERISSEMENT

Parmi les cas actuels de dépérissement les plus sérieux et ceux qui retiennent le plus l'attention, on note le dépérissement de plusieurs essences résineuses et feuillues en Europe centrale où les dommages sont visibles depuis la fin des années 1970; le dépérissement de l'épinette rouge et du sapin baumier dans le nord-est des Etats-Unis depuis le début des années 1980 et le dépérissement des érablières particulièrement au Québec depuis 1981.

Plusieurs pays d'Europe centrale sont touchés par un dépérissement des forêts mais c'est en Allemagne de l'Ouest que le phénomène est le plus évident. C'est aussi le pays qui possède le système de détection le plus élaboré car il couvre la quasi totalité de la superficie boisée. La forêt bavaroise et la Forêt Noire situées dans le sud du pays sont les plus endommagées. Les résineux sont plus sévèrement atteints que les feuillus. Le sapin pectiné est le plus touché: 87% de la surface occupée par cette essence est atteinte mais elle ne représente que 2% de la superficie boisée. L'épinette de Norvège qui est l'essence résineuse la plus importante, soit 40% de la superficie boisée, dépérit sur la moitié de la surface qu'elle occupe. Le pin sylvestre et plusieurs essences feuillues sont aussi touchées par le dépérissement. Dans l'ensemble du pays, 50% de la superficie boisée montre des signes de dépérissement: 33% des arbres ont de 10-25% de leur feuillage manquant, 16% des arbres ont de 26-60% de leur feuillage manquant et 1.5% des arbres ont plus de 60% de leur feuillage manquant ou sont morts.

En France, les dommages semblent limités à la partie nord-est du pays dans les Vosges et le Jura où 25% des sapins et 16% des épinettes et des pins sylvestres ont 20% ou plus de leur feuillage manquant. En Suisse, on estime que 40% de la forêt dépérit: 50% des sapins sont touchés; l'épinette, les pins et le hêtre dépérissent mais à un degré moindre. En Autriche, 6% de la superficie boisée est endommagée. Des dommages semblables quoique plus localisés et moins importants sont aussi rapportés en Italie, en Belgique, au Luxembourg et en Hollande. Ces pays n'ont cependant pas de système de détection couvrant l'ensemble des forêts.

Les forêts de l'Espagne, de l'Angleterre, de l'Irlande, du Danemark, de la Norvège, de la Suède et de la Finlande ne semblent pas encore touchées par ce dépérissement. On ne possède pas d'information sur le dépérissement des forêts dans les pays de l'Europe de l'Est. On sait par contre qu'en Allemagne de l'Est, en Pologne, en Tchécoslovaquie, en Hongrie et en Roumanie des zones boisées situées à proximité de complexes industriels ont été à toute fin pratique dénudées par la pollution.

Dans le nord-est des Etats Unis, l'épinette rouge et le sapin baumier qui croissent en forêt boréale à haute altitude dans les Appalaches, du sud de l'état de New York au nord du Vermont et du New Hampshire, dépérissent de façon dramatique. L'épinette rouge, qui est l'essence la plus touchée, a subit une réduction de croissance de 30-50% dans les 10 dernières années par rapport au 30 années précédentes. A plusieurs endroits, la proportion d'arbres morts ou malades dépasse largement celle des arbres sains. La proportion d'arbres dépérissants varie de 20-70% et celle des arbres morts de 5-55%. Le bouleau blanc qui croît en association avec l'épinette et le sapin

ne semble pas touché.

A première vue, le dépérissement observé dans l'est de l'Amérique du Nord ressemble à celui qui frappe l'Europe centrale. A l'exception du Québec, ce sont les essences résineuses qui sont les plus touchées et les arbres âgés ou croissant à haute altitude qui sont les plus vulnérables. Dans les deux cas on a observé qu'une diminution graduelle de la croissance, initiée il y a environ 20 à 30 ans, a précédé l'épisode actuel de dépérissement.

Plusieurs symptômes inhabituels observés en Europe laissent cependant croire que les stress responsables ne sont pas les mêmes, ou ne sont pas présents avec le même degré d'intensité qu'en Amérique du Nord. En Europe la cime des arbres se détériore dans le sens inverse de celui qu'on observe en Amérique du Nord; les tissus les plus vieux dégénèrent avant les plus jeunes. Le jaunissement et la chute des aiguilles se fait de l'intérieur de la cime vers l'extérieur et de la base vers le sommet de l'arbre alors qu'en Amérique du Nord la cime des arbres rétrécit de l'extérieur vers l'intérieur. En Europe on observe la chute de pousses et de feuilles encore vertes alors que ce phénomène est rare en Amérique du Nord. En Europe le dépérissement se manifeste avec la même intensité sur les sols riches ou pauvres et sur les sols basiques ou acides alors qu'en Amérique du Nord le dépérissement est plus sévère sur les sols pauvres et acides. Enfin, en Europe le dépérissement touche une vaste superficie et est perçu comme un dépérissement des forêts alors qu'en Amérique du Nord, à l'exception peut-être du Québec, le dépérissement ne frappe que quelques essences et apparaît encore assez localisé.

CAUSES DU DEPERISSEMENT

Malgré les nombreux travaux de recherche effectués tant en Europe qu'en Amérique du Nord, personne n'a encore pu établir de relation entre l'étendue, la nature ou la sévérité des symptômes observés et la concentration d'un agent polluant ou la présence de tout autre facteur de stress. D'un point de vue scientifique il n'y a donc pas de preuve formelle permettant d'incriminer la pollution ni aucune autre cause. Il existe cependant tout un ensemble de preuves circonstancielles et d'indices suggérant que le transport à longue distance d'agents polluants pourrait être un facteur de stress important pour les arbres. Plusieurs hypothèses ont été avancées pour expliquer le dépérissement actuel des arbres et des forêts tant en Europe qu'en Amérique du Nord. Elles sont présentées ici en commençant par les plus plausibles jusqu'aux plus spéculatives.

Effets néfastes de l'ozone. L'ozone est un gaz produit dans l'atmosphère à partir des oxydes d'azote sous l'influence des radiations ultraviolettes. Cette substance très oxydante a comme effet principal de bloquer la photosynthèse, source vitale d'énergie pour l'arbre. Elle causerait un ralentissement de croissance, rendrait les arbres plus vulnérables aux attaques par les maladies et les insectes et entraînerait la détérioration du système racinaire qui compte sur les produits de la photosynthèse pour son développement. L'ozone peut aussi entraver le fonctionnement normal des stomates perturbant ainsi le processus d'évapotranspiration ou attaquer la

cuticule et les parois cellulaires entraînant la perte d'éléments nutritifs au niveau des feuilles. Les effets nocifs de l'ozone et d'autres polluants gazeux produits dans l'atmosphère comme le PAN peuvent être accentués par la présence d'anhydride sulfureux et d'oxydes d'azote.

Acidification du sol. Selon cette hypothèse, le processus naturel d'acidification des sols serait fortement accéléré par l'apport atmosphérique de substances acidifiantes sous forme gazeuse ou solide: les dépôts secs, et sous forme liquide dans les précipitations: les dépôts humides ou «pluies acides». Le processus d'acidification serait amplifié par des étés chauds et secs. Il provoquerait d'une part l'appauvrissement du sol en favorisant le lessivage d'éléments nutritifs essentiels aux arbres et favoriserait d'autre part la mise en solution de l'aluminium qu'on croit toxique pour les radicelles. Le stress hydrique et nutritif provoqué par la mort des radicelles amènerait la détérioration graduelle de la cime et du système racinaire.

Déficience en magnésium. Selon cette hypothèse, le dépérissement serait surtout dû à une déficience en magnésium accentuée par un surplus d'azote et de calcium. Les dépôts acides, secs et humides, contribueraient à ce déséquilibre en fournissant le surplus d'azote et en provoquant au niveau des feuilles le lessivage du magnésium, élément essentiel à la photosynthèse. La perte de magnésium serait augmentée par des dommages occasionnels à la cuticule et aux parois cellulaires causés par le gel et l'ozone.

Disponibilité excessive en azote. Tous les éléments nécessaires à la croissance des plantes proviennent, quoique dans des proportions très variables, du sol et de l'atmosphère et peuvent être assimilés directement au niveau des feuilles. Il est indéniable que l'activité humaine a modifié et dans bien des cas augmenté l'apport atmosphérique d'éléments nutritifs pour les plantes. Les émissions d'anhydride sulfureux se sont stabilisées ou ont diminuées dans la plupart des pays industrialisés à l'exception de l'Europe de l'Est et de l' U.R.S.S. Les émissions de subtances azotées par contre continuent à augmenter très rapidement principalement sous forme d'oxydes d'azote provenant de la combustion automobile et industrielle et d'amoniaque liée au traitement des eaux usés et à l'agriculture.

Un surplus d'azote crée une demande accrue pour tous les autres éléments et peut entraîner une déficience particulièrement en magnésium, en potassium, en phosphore, en molybdène et en bore, défavorise la mycorhization, augmente la sensibilité au gel, aux insectes et à certaines maladies particulièrement au niveau des racines, favorise la cime au détriment des racines et peut interférer avec les processus de nitrification, de dénitrification et de fixation de l'azote.

Fatigue généralisée des arbres. La pollution atmosphérique contiendrait à la fois des éléments nutritifs, des substances régulatrices de croissance et des substances toxiques qui provoqueraient une diminution de la photosynthèse et la production par l'arbre de produits métaboliques secondaires potentiellement toxiques. L'état énergétique défavorable dans lequel se retrouveraient les arbres aurait un impact négatif sur le développement des radicelles et sur leur mycorhization; ce qui rendrait les arbres plus sensibles aux stress

abiotiques comme le gel et la sécheresse et aux stress biotiques comme les maladies et les insectes.

Maladie virale. Un virus capable d'entraver le processus normal de la photosynthèse et le métabolisme hormonal serait responsable de la diminution de croissance et du dépérissement des arbres. Ce virus serait capable d'infecter la plupart des essences résineuses et feuillues et serait vraisemblablement transmis par des insectes. On suppose que l'invasion de toute l'Europe centrale par ces insectes aurait pu être favorisée par les effets de la pollution. Plusieurs virus ont été isolés des arbres dépérissants en Europe mais aucune relation de cause à effet n'a pu être établie. En Amérique du Nord il existe au moins un cas de dépérissement, celui du frêne, attribuable à un mycoplasme.

Substances analogues à des hormones de croissance. On suppose que parmi les milliers de subtances organiques relâchées dans l'atmosphère, certaines, comme l'éthylène, pourraient provoquer un débalancement hormonal ou agir directement sur la croissance des arbres. Un cas de dépérissement de cette nature a été rapporté en Caroline du Nord où l'aniline, une substance organique volatile, causait un dérèglement de la croissance et la mort des arbres à proximité de deux usines d'où originait cette substance.

Insuffisance des forces de cohésion de l'eau dans les vaisseaux. La cohésion est la force qui empêche les colonnes d'eau sous forte tension de se briser. Normalement les plantes neutralisent les substances qui, en diminuant les forces de cohésion, risqueraient de causer la rupture des colonnes d'eau dans les vaisseaux. Mais des substances artificielles présentes dans les gaz polluants pourraient s'introduire dans le système vasculaire et contrecarrer le processus normal sans que la plante soit capable de réagir provoquant la désorganisation du système de transport de l'eau et le dépérissement des arbres. Cette hypothèse est essentiellement spéculative.

On doit faire remarquer d'une part que toutes ces hypothèses font intervenir directement ou indirectement une forme ou une autre de pollution de l'air et d'autre part qu'aucune ne peut expliquer tous les symptômes du dépérissement ni son intensité ou son étendue. Aucune de ces hypothèses par contre n'est exclusive. Plusieurs des agents polluants et des mécanismes suggérés pourraient contribuer de façon indépendante ou synergique au dépérissement des arbres. Mais si la pollution joue un rôle important dans le dépérissement, ce n'est fort probablement qu'un des facteurs de stress dont il faut tenir compte pour expliquer l'ensemble du phénomène et toutes ses manifestations.

Même si on ne s'entend pas sur la nature des facteurs prédisposants, incitants et contribuants, l'idée voulant que le dépérissement soit un problème à causes multiples et interdépendantes est largement acceptée en Europe et en Amérique du Nord. Il est fort probable que le dépérissement soit le résultat d'une combinaison de facteurs anthropiques comme la pollution, écologiques comme les caractéristiques des stations, abiotiques comme le gel et la sécheresse et biotique comme les insectes et les maladies. Selon les endroits, des polluants divers, des conditions écologiques différentes et des agents vivants et non-vivants variés agiraient à divers degrés, produisant des symptômes de nature et d'intensité variables.

SOLUTIONS AU DEPERISSEMENT

Comme on ne connaît pas de façon certaine l'ensemble des causes qui contribuent au dépérissement des arbres et des forêts, il n'existe pas encore de solution définitive à ce problème. Cependant, malgré l'absence de preuves formelles, on croit généralement que la pollution atmosphérique joue un rôle prépondérant dans le dépérissement et qu'une solution efficace est liée à un meilleur contrôle des émissions. L'attitude européenne et nord-américaine, tant dans la communauté scientifique que chez les politiciens, sont cependant très différentes. Malgré les réticences de certains pays comme la France, la Communauté Economique Européenne travaille déjà à établir des standards d'émission qui permettraient de réduire l'impact de divers polluants sur les forêts dans l'ensemble des pays membres.

En Amérique du Nord, même si le Canada montre une certaine détermination, on ne peut envisager de solution au problème de la pollution sans la collaboration de nos voisins du sud. Quoiqu'elle ne soit pas générale parmi les scientifiques et les politiciens américains, l'attitude dominante, fortement influencée par l'industrie, peut être résumée sans trop caricaturer en disant que, faute de preuve formelle, il n'existe pas de dépérissement des forêts à grande échelle dans l'est de l'Amérique du Nord. On reconnaît que localement, à proximité de certaines sources de pollution, des arbres sont endommagés et meurent, et que certaines essences comme l'épinette rouge éprouve, dans des conditions très particulières, des difficultés liées à des causes naturelles comme la sécheresse, difficultés qui pourraient être accrues par le transport de polluants à longue distance. Mais on s'empresse d'ajouter qu'il n'y a aucune évidence que les dépôts acides ou toute autre forme de pollution affecte la productivité des forêts dans l'est de l'Amérique du Nord.

Même en étant optimiste il faut admettre que si la solution au dépérissement doit passer par une réduction des émissions, il s'agit d'une solution à moyen ou long terme dont les effets ne se feront pas sentir avant une dizaine d'années ou même plus. A court terme, il semble possible d'arrêter la progression des symptômes en corrigeant les déséquilibres nutritifs qu'on observe chez les arbres dépérissants. Deux approches ont été essayées soit le chaulage et la fertilisation.

En Europe, on suggère dans certains cas un chaulage léger accompagné d'une fertilisation en potassium, en phosphore et en magnésium mais de façon générale cette solution n'est pas recommandée. Même si en principe le chaulage peut être efficace, c'est une solution difficile à envisager en forêt. Le mode d'application pose un problème car pour être pleinement efficace la chaux devrait être incorporée au sol. Dans certaines conditions, on craint des effets secondaires comme une minéralisation trop rapide de la matière organique, ce qui risquerait de causer des pertes en azote. Le chaulage pourrait donc produire un effet bénéfique à court terme au risque d'un déséquilibre nutritif à plus long terme. Une fertilisation visant à corriger les déficiences en certains éléments minéraux dont le cycle est perturbé donne des résultats encourageants et semble présenter moins de risques que le chaulage. Dans un cas comme dans l'autre on doit cependant être conscient qu'on n'a pas solutionné le problème mais seulement gagné du temps.

Entre la solution définitive mais éloignée que pourrait représenter un meilleur contrôle de la pollution atmosphérique et l'intervention immédiate pour garder les arbres en vie, on propose des interventions sylvicoles à caractère préventif plutôt que curatif pour augmenter la stabilité écologique des peuplements forestiers et les rendre plus résistants aux nombreux stress auxquels ils sont confrontés. On suggère de tenir compte du site dans le choix des essences et la composition du peuplement, de promouvoir la vigueur de la forêt par des interventions plus fréquentes mais plus limitées, d'assurer la régénération par des coupes progressives plutôt que des coupes totales et de sélectionner les sujets les plus résistants. Dans certains cas on recommande de lutter contre les insectes qui représentent un stress important pour les arbres.

CONCLUSION

Le dépérissement n'est pas un phénomène nouveau, mais il est complexe et on commence à peine à le considérer dans toute sa complexité. Les dépérissements diffèrent les uns des autres parce qu'ils ont des causes variées, mais ils se ressemblent dans la façon dont ces causes s'agencent les unes aux autres et agissent sur les arbres. Alors que dans le passé ils étaient la plupart du temps limités à une essence, les dépérissements actuels, comme ceux qui frappent les forêts d'Europe centrale ou les érablières du Québec, touchent la forêt dans son ensemble. Il est de plus en plus évident que la nature, l'intensité ou la persistance des facteurs de stress associés à ces dépérissements causent un grave déséquilibre dans l'écosystème forestier qui se manifeste par le dépérissement des arbres. Dans certains cas, le dépérissement serait un phénomène périodique qui amène un réajustement normal dans un écosystème essentiellement stable à long terme. Dans d'autres cas, il s'agirait d'un déséquilibre précurseur d'une dégradation progressive de l'écosystème.

Il y a peut-être plus qu'une simple coïncidence dans le fait que le centre de l'Europe et l'est de l'Amérique du Nord qui sont parmi les régions du monde où le niveau de pollution atmosphérique est le plus élevé subissent les dépérissements les plus intenses. Le Québec n'est pas un cas isolé mais il ne faut pas croire pour autant que toutes les solutions viendront d'ailleurs. Les actions des divers facteurs de stress sur les arbres sont les mêmes partout mais il faut connaître l'importance relative de chacun et les conditions particulières dans lesquelles ils agissent pour comprendre l'effet qui en résulte. De plus il est important de déterminer pourquoi certaines essences sont plus sensibles et certains peuplements plus vulnérables que d'autres.

Dépérissement des érablières: ampleur des dommages dans les Appalaches

Conférence présentée le
8 mai 1986 lors de la
journée d'information
sur l'acériculture

Préparée par

Clément Bordeleau, ing. f.
Service de la protection
contre les insectes et les
maladies
Ministère de l'Energie et des Ressources
Sainte-Foy

INTRODUCTION

Le dépérissement de la forêt n'est pas un phénomène récent tant au Québec qu'à l'échelle internationale. Au cours des années 1930, plusieurs cas ont en effet été observés dans la province chez différentes essences, telles le bouleau à papier, le bouleau jaune et le frêne noir. Le dépérissement de l'érable à sucre par contre, ne semble pas avoir été important au Québec avant 1978: un seul cas a été en fait signalé antérieurement, soit par Pomerleau (1944). Ce dépérissement avait été observé en 1934 dans quelques érablières de la Beauce (Lachance 1985).

Les premiers cas du dépérissement actuel des érablières furent également enregistrés dans la région de la Beauce en 1978. Le problème s'accentua en 1981 et s'étendit en 1982 sur de vastes superficies localisées principalement dans les comtés de Beauce, Mégantic, Frontenac et Arthabaska.

Face à l'importance du phénomène et dans le cadre de son programme de surveillance des problèmes entomologiques et pathologiques, le Service de la Protection contre les insectes et les maladies du ministère de l'Energie et des Ressources mettait sur pied en 1983 un relevé aérien afin de déterminer l'ampleur et la sévérité du dépérissement des érablières.

Un relevé intensif effectué par hélicoptère fut ainsi réalisé au cours des trois dernières années. Les survols exécutés durant les étés 1983 et 1984 ont été conduits dans les régions considérées comme le plus fortement affectées par le dépérissement; une zone de quelque 19 400 km^2 localisée entre Montmagny et Victoriaville fut alors inventoriée. Le survol réalisé en 1985 a été extensionné à l'ensemble des Appalaches afin d'évaluer l'importance du phénomène sur la rive sud du Saint-Laurent.

1- PROGRAMME D'INVENTAIRE 1985

Le relevé aérien effectué en 1985 a couvert une superficie de 25 110 km^2. Le territoire inventorié était délimité à l'ouest par le lac Champlain, à l'est par Saint-Pascal-de-Kamouraska, au sud par la frontière américaine et au nord par la plaine du Saint-Laurent. Les zones en érablières incluses dans le territoire inventorié occupent une superficie totale de 5 336 km^2, soit 21,2% du territoire survolé. Le relevé a été réalisé à l'aide de deux hélicoptères durant la période comprise entre le 31 juillet et le 24 août et il a nécessité 190 heures de vol.

Le survol 1985 a été effectué dans les Appalaches en raison de l'importance des superficies en érablières qu'on y trouve ainsi qu'en raison de la présence déjà connue de dommages sur ce territoire. Les secteurs inventoriés en 1983 et 1984 ont été inclus au programme de 1985 afin d'évaluer l'évolution du phénomène de dépérissement.

2- METHODOLOGIE

La méthode utilisée pour exécuter le relevé aérien consistait à patrouiller le territoire selon un patron de lignes orientées nord-sud et équidistantes de 2 km chacune. Les lignes de vol ainsi que le contour de tous les peuplements d'érable avaient été préalablement cartographiés sur les cartes topographiques (échelle 1:50 000) qui servaient à la navigation aérienne et à la cueillette de l'information. La méthodologie utilisée en 1985 a permis d'améliorer la prise de données et augmenter la précision du relevé aérien: au cours des relevés antérieurs, les érablières n'avaient pas été tracées sur les cartes topographiques tel que des efforts énormes étaient consentis à la localisation des aires affectées et ce, au détriment de la précision de la prise de données.

L'évaluation aérienne du niveau de dépérissement est basée sur la proportion de feuillage manquant dans la cime des arbres ainsi que sur la coloration du feuillage. Les classes de dépérissement qui ont été retenues lors du survol sont sensiblement les mêmes que celles utilisées pour évaluer le phénomène au sol. La sévérité du dépérissement a ainsi été quantifiée selon cinq classes qui sont:

SAIN: 100% de feuillage présent dans la cime des arbres. Aucune coloration anormale du feuillage.

TRACE: 1-10% de feuillage manquant dans la cime des arbres. Les feuilles sont généralement plus petites et jaunâtres.

LEGER: 11-25% de feuillage manquant dans la cime des arbres. Présence de ramilles mortes.

MODERE: 26-50% de feuillage manquant dans la cime des arbres. Présence de branches mortes et décollement de l'écorce sur les branches principales et sur le tronc.

ELEVE: 51% et plus de feuillage manquant dans la cime des arbres. Présence de branches mortes et décollement de l'écorce sur les branches principales et sur le tronc.

La mortalité des arbres, les coupes partielles et totales ont été également relevées lors du survol. Cependant, dû à l'impossibilité de distinguer par voie aérienne la classe inférieure de dépérissement (Trace) de tout phénomène naturel "normal" pouvant avoir une incidence sur l'aspect du feuillage, les zones peu affectées ont été regroupées avec les zones saines.

3- R E S U L T A T S

3.1- AMPLEUR ET SEVERITE DU DEPERISSEMENT EN 1985

Les résultats du relevé aérien sont colligés au TABLEAU 1. Les données recueillies indiquent que près de 60% de la superficie en érablières qui a été survolée se situe dans la classe de dépérissement "sain ou peu affecté". Il est important de préciser que les érablières exemptes de symptômes de dégâts quelconques n'ont été cependant que rarement relevées. Les dommages se sont avérés légers sur 35,4% de la superficie en érablières inventoriée, modérés sur 4,2% et élevés sur 0,9% de la superficie.

Lorsqu'on considère uniquement les dommages clairement identifiés comme du dépérissement, c'est-à-dire en ne tenant pas compte de la classe "sain ou peu affecté", on constate que les dommages légers totalisent en superficie 88% de l'ensemble des dommages rapportés. A la lumière de ce résultat, il semble que la sévérité du phénomène ne soit pas encore importante à l'échelle de la zone des Appalaches: la réalité est cependant différente lorsqu'on considère que des érablières fortement affectées par le dépérissement ont été relevées dans toutes les parties de la vaste zone inventoriée et qu'également, on retrouve de la mortalité d'arbres dans toutes les classes de dépérissement. Cette mortalité est observée chez des tiges individuelles éparpillées dans l'ensemble du peuplement pour le niveau de dépérissement léger et elle devient de plus en plus concentrée et importante à mesure que le taux de dépérissement s'accentue.

La mortalité d'arbres fut décelable sur 61% de la superficie affectée par le dépérissement. Elle a été observée sur 56%, 92% et 100% des superficies classifiées respectivement à un niveau de dépérissement léger, modéré et élevé.

L'analyse des résultats par secteurs montrent que les dommages sont très importants sur certains territoires. Les unités de gestion 34 et le sud-est de l'unité de gestion 41 sont particulièrement affectées par le dépérissement; le pourcentage des érablières qui y sont saines ou peu affectées représente moins de 40% des érablières inventoriées. Les peuplements survolés dans les unités de gestion 11 et 63 sont par contre, les moins affectées par le phénomène.

La distribution et la sévérité du dépérissement sont présentées à la FIGURE 1. Le territoire inventorié peut être subdivisé en trois grandes zones établies selon l'intensité du dépérissement: les zones ouest et est du territoire sont caractérisées par un niveau de dépérissement généralement faible tandis que la zone centrale est la partie fortement affectée.

Zone ouest

La "zone ouest" est comprise entre le lac Champlain, Victoriaville et Lac Mégantic. Elle englobe les MRC de Brome-Missisquoi, La Haute-Yamaska, Memphrémagog, Sherbrooke, Le Val Saint-François, Coaticook, Le Haut-Saint-François et L'Or-Blanc (comtés de Brome, Missisquoi, Shefford, Stanstead, Sherbrooke et Compton). Les peuplements sains ou peu affectés dominent dans cette zone mais de nombreuses inclusions de dépérissement léger à modéré sont dispersées sur l'ensemble de la superficie.

La MRC Le Haut-Saint-François est cependant plus sérieusement affectée par le dépérissement; les dommages légers y sont abondants et le dépérissement s'intensifie à mesure qu'on s'approche des limites des MRC limitrophes de L'Amiante et Le Granit. Trois secteurs présentent également des concentrations de peuplements qui subissent des dommages plus importants: les secteurs avoisinant les municipalités de Sutton, de Valcourt et de Coaticook sont plus touchés par le phénomène de dépérissement.

Zone centrale

La partie centrale est incluse dans le quadrilatère formé par les municipalités de Victoriaville, Lac Mégantic, Armstrong et Montmagny et elle est caractérisée par l'omniprésence du dépérissement: les peuplements sains

ou peu affectés n'y ont pas été fréquemment relevés. Cette zone englobe les MRC Le Granit, L'Amiante, L'Erable, Beauce-Sartigan, Robert-Cliche, Nouvelle-Beauce, Bellechasse et une partie des MRC Les Etchemins et Arthabaska (comtés d'Arthabaska, Wolfe, Mégantic, Frontenac, Beauce, une partie de Bellechasse et de Dorchester).

Le niveau de dépérissement est particulièrement important sur le vaste territoire compris entre les municipalités de Plessisville, Saint-Joseph-de-Beauce et Lac Mégantic. La région environnante de Thetford-Mines ainsi que les secteurs compris entre Ham-Nord et Saint-Pierre-Baptiste ainsi qu'entre Saint-Georges et Saint-Romain sont gravement affectés par le dépérissement. Les dommages sont également élevés en périphérie de la municipalité de Lac Mégantic.

A l'est de la rivière Chaudière, les dommages s'atténuent graduellement et l'ensemble de ce territoire est affecté légèrement à l'exception d'une partie de la MRC de Bellechasse où de nombreux "îlots" de dépérissement modéré ont été enregistrés. Cette accentuation du dépérissement est principalement localisée entre les municipalités de Frampton et d'Armagh.

Zone est

Le dépérissement relevé dans la "zone est" englobant les MRC de Montmagny, Les Etchemins et L'Islet a été généralement faible. De tout le territoire inventorié, cette zone est celle qui semble la moins affectée par le phénomène de dépérissement. Les peuplements sains ou peu affectés occupent la majeure partie de cette zone.

Néanmoins, le phénomène de dépérissement s'est manifesté sur ce territoire tel que plusieurs peuplements sont affectés légèrement et que dans quelques secteurs de superficies restreintes, le dépérissement atteint un niveau modéré.

3.1- PRECISION DU RELEVE AERIEN

La précision du relevé aérien a été vérifiée en comparant les résultats obtenus avec les données recueillies au sol dans 85 érablières (193 parcelles d'étude). L'évaluation du dépérissement s'est avérée similaire dans 88% des érablières. La discordance entre les deux évaluations (12% des érablières) a été observée généralement lorsque le niveau de dépérissement se situe à la limite d'une classe: les différences enregistrées sont ainsi négligeables et montrent la fiabilité du relevé aérien. Le taux moyen de

dépérissement évalué au sol est de l'ordre de 7% dans la classe du relevé aérien "sain ou peu affecté", de 18% dans la classe 11 à 25% et de 33% dans la classe 26 à 50%. Une seule des érablières évaluées au sol fut localisée dans la classe 51% et plus: son niveau moyen de dépérissement était de 54%.

3.3- EVOLUTION DU PHENOMENE

L'évolution du dépérissement sur les territoires qui ont été survolés en 1983-84 ainsi qu'en 1985 a été évaluée en comparant l'importance des superficies distribuées dans chacune des classes de dépérissement selon l'année du survol.

Cette évaluation n'est cependant pas précise et n'indique que la tendance du phénomène car pour une même zone inventoriée lors de deux survols, les superficies cartographiées ne coincident pas. Cette différence est attribuable à la méthodologie d'inventaire utilisée: au cours des relevés exécutés en 1983 et 1984, l'observateur aérien devait définir si le peuplement était une érablière et tracer le contour de la surface dans laquelle il évaluait le dépérissement. Plusieurs érablières ont ainsi été ignorées et les contours de celles qui ont été cartographiées sont plus ou moins conformes à la réalité. D'autres part, le relevé effectué en 1985 risque de sous-estimer le dépérissement dans les érablières qui sont gravement affectées car plusieurs producteurs ont coupé les tiges qui étaient mortes ou fortement endommagées. Considérant que le niveau de dépérissement a été évalué selon les mêmes critères au cours de chaque relevé aérien, l'analyse comparative des résultats indique toutefois la tendance du phénomène.

Les résultats de l'analyse comparative du dépérissement enregistré sur le territoire inventorié en 1983 et en 1985 sont présentés au TABLEAU 2. Ce territoire est compris dans un corridor nord-sud localisé grossièrement entre Montmagny et Black-Lake; il englobe la majeure partie de l'unité de gestion 34 (sud de la MRC de Lotbinière, L'Amiante, Beauce-Sartigan, Robert-Cliche, Nouvelle-Beauce, ouest des MRC de Bellechasse et Les Etchemins), près de la moitié de l'unité de gestion 51 (MRC Le Granit et moitié est de la MRC Le Haut-Saint-François) ainsi que l'extrémité ouest de l'unité de gestion 35 (partie est de la MRC de Bellechasse). Le TABLEAU 2 montre que le phénomène de dépérissement a évolué dans l'ensemble de la zone inventoriée: les érablières saines ou peu affectées ne totalisent que 43% de la superficie en érablières en 1985 comparativement à 66% en 1983. L'évolution du dépérissement s'est manifestée presqu'entièrement dans la classe "sain ou peu affecté", au profit de la classe "léger".

Le phénomène a particulièrement évolué dans l'unité de gestion 34, soit sur

le territoire qui était considéré comme fortement affecté en 1983. Les érablières saines ou peu affectées n'y représentent que 25% de la superficie en 1985 comparativement à 57% en 1983. Le dépérissement s'est accentué principalement dans les MRC de L'Amiante, Lotbinière, Nouvelle-Beauce, Robert-Cliche et Bellechasse. La région avoisinante de Thetford-Mines a subi entre autres une nette accentuation du dépérissement.

Les dommages se sont également étendus dans l'unité de gestion 51, particulièrement dans la région du Lac Mégantic (MRC Le Granit): les érablières dont la proportion de feuillage manquant est supérieur à 10% y occupent 42% de la superficie en 1985 comparativement à 20% en 1983. Par contre, le dépérissement est demeuré sensiblement stable dans l'unité de gestion 35.

Le TABLEAU 3 présente les résultats des évaluations effectuées en 1984 et 1985. La zone qui a été inventoriée est comprise dans le corridor nord-sud localisé entre Black-Lake et Victoriaville; elle couvre partiellement les MRC l'Erable et d'Arthabaska (U.G. 41), L'Amiante (U.G. 34), L'Or Blanc, Le Val Saint-François, Le Haut-Saint-François, Sherbrooke et Coaticook (U.G. 51).

Bien que le dépérissement soit moins étendu et moins intense sur l'ensemble de ce territoire que sur celui inventorié en 1983, on peut constater que la progression du phénomène s'y produit de façon similaire. Les peuplements sains ou peu affectés qui occupaient 76% de la superficie en 1984 n'occupent plus que 61% de la superficie en 1985. L'évolution du dépérissement s'est produite dans la clase sain ou peu affecté et la majorité des superficies ne sont qu'affectées légèrement. Les MRC de L'Amiante, d'Arthabaska et de L'Erable ont connu la plus forte progression du niveau de dépérissement: cette évolution s'inscrit principalement dans un quadrilatère délimité par Victoriaville, Ham-Nord, Thetford-Mines et Saint-Pierre-Baptiste. Dans l'unité de gestion 51, les dommages se sont accentués dans la région de Coaticook.

L'analyse comparative des résultats montrent que le dépérissement a évolué au cours des deux dernières années et que cette progression a été généralement plus importante sur les superficies qui avaient été identifiées dès 1982 comme gravement affectées par le phénomène. En regroupant les aires inventoriées en 1983 et 1984, on peut constater que le dépérissement a progressé sur environ 23% de la superficie: les peuplements sains ou peu affectés y occupaient 71% de la superficie en érablières comparativement à 48% en 1985.

4- ANALYSE DU DEPERISSEMENT EN RELATION AVEC LA DEFOLIATION CAUSEE PAR LA LIVREE DES FORETS

Afin de vérifier l'influence de la défoliation causée par les insectes sur le dépérissement, nous avons comparé la sévérité des dommages de 19 érablières dans lesquelles l'intensité de l'attaque de la livrée des forêts, Malacosoma disstria Hubner, avait été quantifiée lors de l'infestation du début des années 1980.

Les résultats présentés au TABLEAU 4 montrent que le dépérissement affecte des érablières qui n'ont subi aucune défoliation: 6 des 7 érablières qui n'ont pas été affectées par la livrée sont atteintes de dépérissement. Les érablières qui ont été défoliées modérément à sévèrement durant deux années semblent cependant plus fortement affectées par le phénomène: 5 des 11 érablières qui ont subi deux années de défoliation présentent un niveau de dépérissement modéré ou élevé.

Le taux moyen de dépérissement a également été évalué au sol dans 6 des 19 érablières. Une de ces érablières n'avait subi aucune défoliation tandis que les cinq autres avaient été défoliées gravement durant deux années. Le taux moyen de dépérissement se chiffre à 23% dans l'érablière qui n'a pas été défoliée et à 14%, 30%, 32%, 49% et 59% dans les cinq érablières défoliées. Cette évaluation corrobore ainsi les résultats présentés au TABLEAU 4, indiquant que l'infestation de la livrée des forêts a pu contribuer au phénomène mais qu'il existe du dépérissement dans des érablières qui n'ont pas subi le stress de la défoliation.

Il est évident que toute défoliation entraîne un affaiblissement de l'hôte et que si elle est répétée pendant quelques années, elle peut causer sa mort. Dans le cas de la livrée des forêts, des épidémies se sont manifestées régulièrement depuis le début des années 1900 sans qu'il y ait eu de mortalité d'arbres de signaler. Les infestations antérieures n'ont cependant jamais été aussi intenses et étendues que celles des années 1980, du moins en ce qui concerne l'attaque des érablières. Il faut maintenant se demander s'il n'existe pas des facteurs qui ont rendu les érablières plus susceptibles à l'attaque de la livrée, et conséquemment, plus susceptibles à l'attaque potentielle d'autres défoliateurs. Si tel est le cas, les dangers qui menacent la survie de nos érablières peuvent devenir multiples.

C O N C L U S I O N

Le relevé aérien effectué en 1985 montre que le dépérissement des érablières est un problème qui couvre une étendue considérable et que le phénomène a progressé rapidement dans les Appalaches au cours des dernières années.

Les inventaires terrestres effectués ont démontré que les symptômes de dépérissement débordent largement la zone survolée et que plusieurs essences sont affectées par le phénomène. Ces relevés indiquent que le dépérissement atteint maintenant la rive nord du Saint-Laurent; le territoire compris entre Sainte-Anne-de-Beaupré et Louiseville, les secteurs des Laurentides au nord de Montréal, les vallées des principales rivières de la région de l'Outaouais ainsi que la région du Témiscamingue seraient touchés par le dépérissement. Des symptômes de dépérissement ont été en fait observés dans toute la zone bioclimatique de l'érablière.

Le Service de la Protection contre les insectes et les maladies poursuivra en 1986 son évaluation du phénomène et extensionnera le relevé aérien sur la rive nord du Saint-Laurent. Afin de suppléer aux méthodes classiques d'inventaires, le SPIM vérifie également, en collaboration avec le Centre Forestier des Laurentides et le Centre Québécois de coordination de la Télédétection, le potentiel de certains outils de télédétection qui pourraient permettre de détecter et cartographier d'une façon moins subjective et moins coûteuse les zones affectées par le dépérissement.

B I B L I O G R A P H I E

Gagnon, G. et al. 1985 — Le dépérissement des érablières au Québec. Ampleur du problème et état des recherches. Conférence présentée au Congrès de l'Association des biologistes du Québec, novembre 1985.

Lachance, D., 1985 — Répartition géographique et intensité du dépérissement de l'érable à sucre dans les érablières au Québec. Phytoprotection 66: 83-90.

Paradis, C., 1985 — Rapport sur l'évaluation aérienne des dommages causés par le dépérissement dans les érablières du Québec réalisé en 1983 et 1984. Ministère de l'Energie et des Ressources, Service de la Protection contre les insectes et les maladies. Rapport interne, 8 p.

Picher, R. et al., 1985 — Insectes et maladies des arbres. Québec 1985. Rapport annuel, Forêt Conservation, vol. 52, no. 10, mars 1986.

TABLEAU 1 Superficie (ha) en érablières affectées par le dépérissement dans le territoire couvert par le relevé aérien en 1985

Régions administratives	Unités de gestion	CLASSES DE DEPERISSEMENT									
		SAIN OU PEU AFFECTE[1] (10% et moins)		LEGER (11 à 25%)		MODERE (26 à 50%)		ELEVE (51% et +)		TOTAL	
		(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)
Bas St-Laurent-Gaspésie	11	687	88,0	94	12,0	-	-	-	-	781	100
Québec	34	39 482	28,5	83 951	60,6	12 857	9,3	2 191	1,6	138 481	100
Québec	35	49 979	72,1	18 292	26,4	994	1,4	38	0,1	69 303	100
Trois-Rivières	41	5 976	36,7	7 953	48,9	2 037	12,5	306	1,9	16 272	100
Estrie	51	155 738	68,1	66 275	29,0	5 036	2,2	1 628	0,7	228 677	100
Montréal	63	65 751	82,1	12 604	15,7	1 326	1,7	387	0,5	80 068	100
Total (ha) (%)		317 613	(59,5)	189 169	(35,4)	22 250	(4,2)	4 550	(0,9)	533 582	(100)

[1] Classe incluant les érablières saines ou peu affectées par le dépérissement

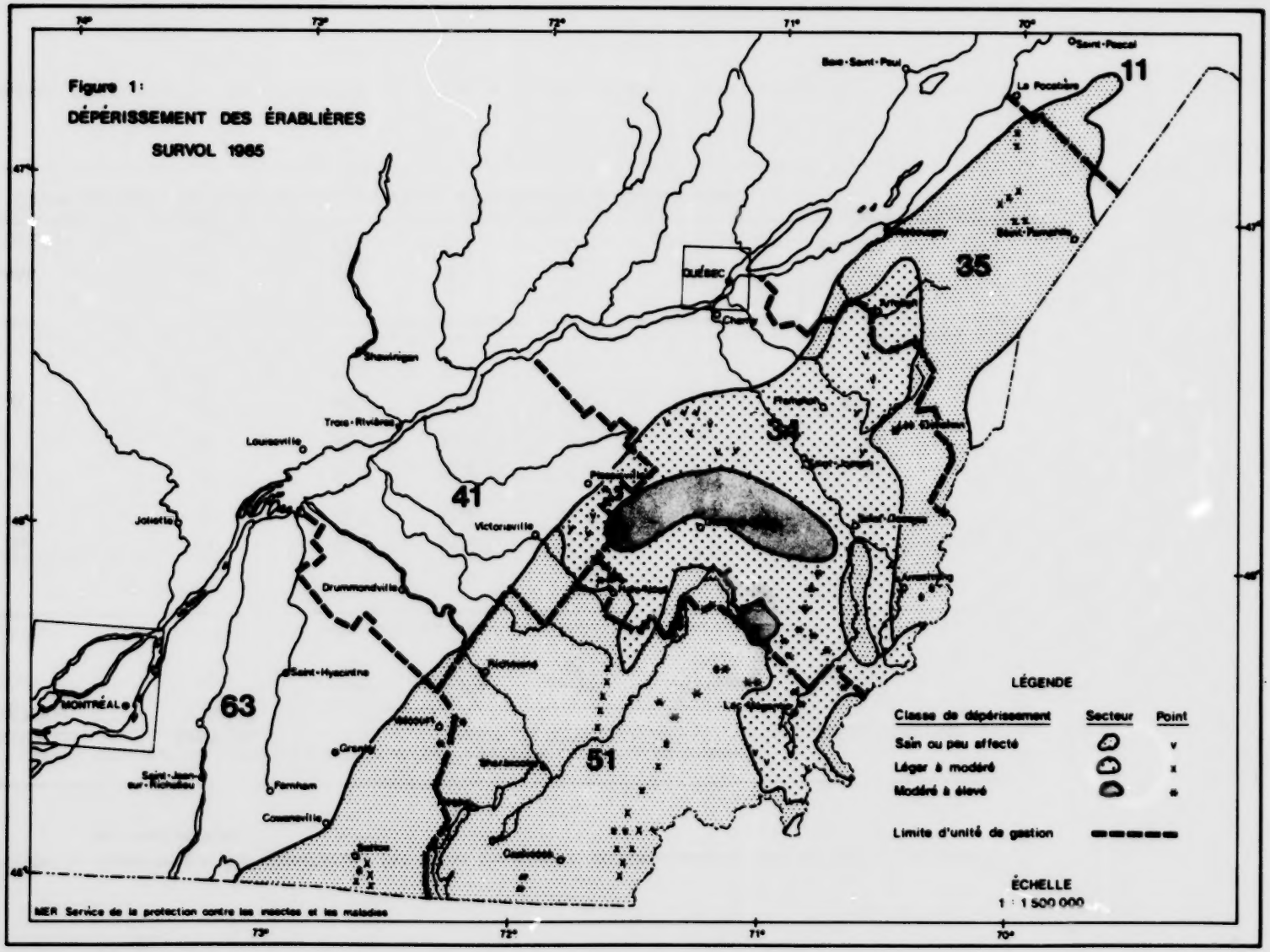


Figure 1:
DÉPÉRISSEMENT DES ÉRABLIÈRES
SURVOL 1985
11
35
34
41
63
51
LÉGENDE
Classe de dépérissement
Secteur
Point
Sain ou peu affecté
Léger à modéré
Modéré à élevé
Limite d'unité de gestion
ÉCHELLE
1 : 1 500 000
MER Service de la protection contre les insectes et les maladies

TABLEAU 2 Distribution des superficies (%) selon les classes de dépérissement sur le territoire inventorié en 1983 et 1985

UNITES DE GESTION	ANNEE DU SURVOL	CLASSES DE DEPERISSEMENT				SUPERFICIE (HA)
		<11%[1] (%)	11-25% (%)	26-50% (%)	51% et + (%)	
34	83	57,1	32,3	9,6	1,0	53 837
	85	25,2	57,2	16,1	1,5	127 367
35	83	69,0	27,6	3,4	-	8 448
	85	66,1	32,2	1,6	0,1	35 854
51	83	79,6	13,5	6,5	0,4	32 353
	85	57,6	37,5	3,7	1,2	101 303
TOTAL	83	65,9	25,5	7,9	0,7	94 638
	85	43,2	46,3	9,4	1,1	264 524

[1] Classe incluant les érablières saines ou peu affectées par le dépérissement

TABLEAU 3 Distribution des superficies (%) selon les classes de dépérissement sur le territoire inventorié en 1984 et 1985

UNITES DE GESTION	ANNEE DU SURVOL	CLASSES DE DEPERISSEMENT				SUPERFICIE (HA)
		<11%[1] (%)	11-25% (%)	26-50% (%)	51% et + (%)	
34	84	68,3	18,4	10,4	2,9	13 520
	85	23,9	67,3	6,2	2,6	11 573
41	84	54,1	38,7	5,8	1,4	16 835
	85	32,7	51,8	13,5	2,0	15 146
51	84	82,3	16,3	1,3	0,1	73 008
	85	70,6	28,1	1,0	0,3	83 858
TOTAL	84	75,9	20,3	3,2	0,6	103 363
	85	60,5	35,5	3,3	0,7	110 577

[1] Classe incluant les érablières saines ou peu affectées par le dépérissement

TABLEAU 4 Comparaison du niveau de dépérissement de quelques érablières en relation avec l'infestation de la livrée des forêts, Malacosoma disstria (Hubner)

ANNEES DE DEFOLIATION (M-S)[1]	NOMBRE D'ERABLIERES	REPARTITION DES ERABLIERES SELON LES CLASSES DE DEPERISSEMENT			
		Sain ou peu affecté (< 11%)	Léger (11-25%)	Modéré (26-50%)	Elevé (51% et +)
0	7	1	5	1	-
1	1	-	-	1	-
2	11	-	6	3	2

[1] Défoliation modérée ou sévère

Impact socio-économique du dépérissement

Conférence présentée le
8 mai 1986 lors de la journée
d'information sur l'acériculture

Préparée par

Lise Robitaille, ing.f., M.Sc.
Service de la recherche appliquée
Ministère de l'Énergie et des Ressources
Sainte-Foy

INTRODUCTION

Cet exposé n'est pas une étude socio-économique dans toute la rigueur du terme, mais a pour but de vous donner une image de la ressource menacée par le dépérissement.

LE SECTEUR FORESTIER

DÉFINITION D'UNE ÉRABLIÈRE

On qualifie d'érablière, tout peuplement qui est dominé par l'érable à sucre. Il n'existe pratiquement pas de peuplements purs d'érable à sucre à l'état naturel; ceux-ci résultent de l'action de l'homme qui a coupé les essences compagnes.

Il existe différentes sortes d'érablières dont le potentiel varie selon l'épaisseur du sol, le drainage, l'altitude, l'exposition et le climat. L'ensemble de ces érablières, décrites sur la carte des régions écologiques du Québec méridional (Thibault, 1985), constitue la forêt feuillue du Québec.

Ces érablières sont regroupées dans quatre domaines climaciques dont les trois premiers font partie de la forêt feuillue et le quatrième, de la forêt mélangée. Ce sont les domaines:

1- Érablière à caryers et érablière à tilleul

2- Érablière à tilleul et érablière à bouleau jaune

3- Érablière à bouleau jaune

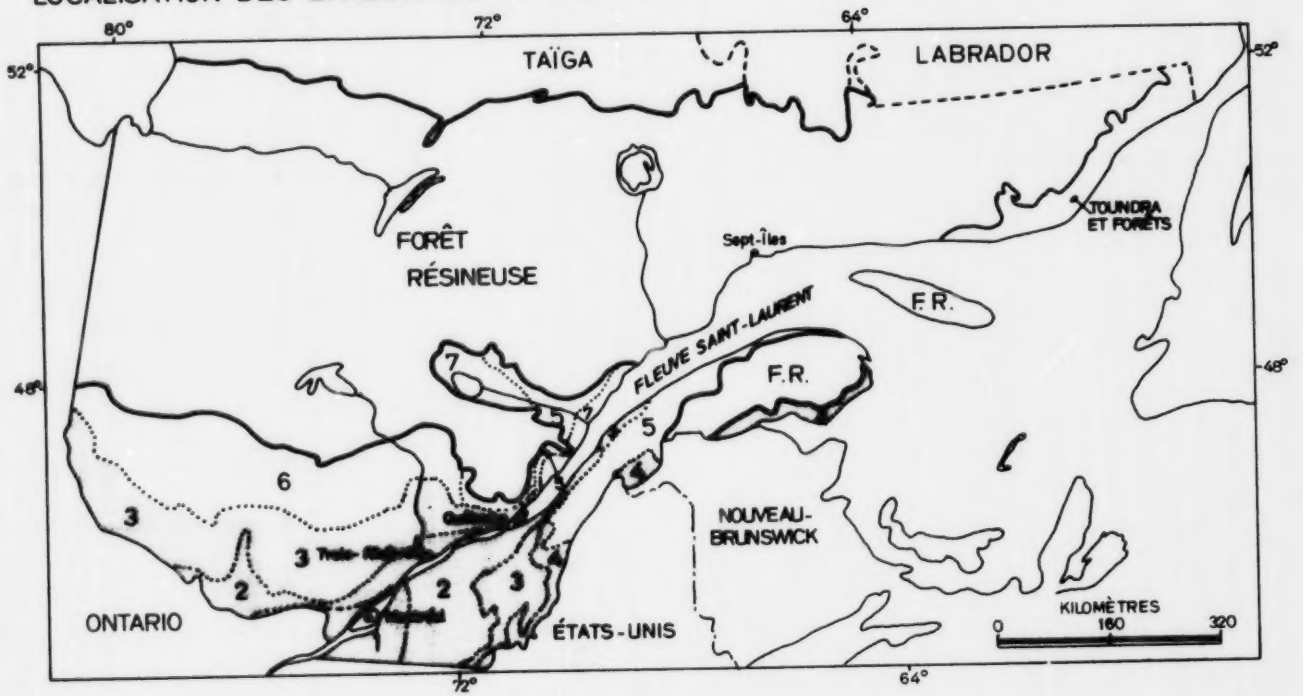
4- Érablière à bouleau jaune et sapinière à bouleau jaune

De plus, on retrouve sporadiquement des érablières dans les autres domaines de la forêt mélangée (Figure 1).

LOCALISATION

Ces peuplements à dominance d'érable à sucre, composés d'essences nobles comme le bouleau jaune, le hêtre, le tilleul, les frênes, les autres érables, les chênes, le cerisier tardif, etc., sont situés au sud du 47^{e} degré de latitude nord dans la zone dite "de banlieue". Cette forêt à haut potentiel est accessible et économiquement exploitable bien qu'on l'ait écrémée par des coupes abusives, ce qui fait qu'actuellement, elle ne produit même pas à 50 p. 100 de sa capacité en bois de qualité.

FIGURE 1:
LOCALISATION DES ÉRABLIÈRES DU QUÉBEC



FORÊT FEUILLUE

Domaines climaciques

1 Érablière à caryers et érablière à tilleul

2 Érablière à tilleul et érablière à bouleau jaune

3 Érablière à bouleau jaune

FORÊT MÉLANGÉE

Domaines climaciques

4 Érablière à bouleau jaune et sapinière à bouleau jaune

5 Sapinière à bouleau jaune

6 Bétulaie jaune à sapin

7 Sapinière à bouleau blanc et érable rouge

FORÊT RÉSINEUSE

iré de: Thibault M. 1985

VOLUME MARCHAND BRUT DE LA FORÊT FEUILLUE

Selon l'inventaire décennal 1970-1979 du territoire, le volume marchand brut* de la forêt productive publique et privée du Québec est d'environ 4 milliards de mètres cubes. Les feuillus constituent 25 p. 100 de ce volume, soit 1 milliard de mètres cubes de bois dont 596,5 millions sont du bouleau à papier et du peuplier, 228,8 millions de l'érable, 138,9 millions du bouleau jaune et 69,5 millions d'autres feuillus nobles (Tableau 1). De plus, 47,0 p. 100 de l'érable ou 107,5 millions de mètres cubes, 17,6 p. 100 du bouleau jaune ou 24,4 millions de mètres cubes et 49,3 p. 100 des autres feuillus nobles ou 34,3 millions de mètres cubes, croissent en forêt privée (Tableau 2).

Les plus fortes concentrations d'érable se retrouvent dans les régions administratives de l'Outaouais, de Montréal, de Québec, de l'Estrie et de Trois-Rivières (Tableau 1).

LE SECTEUR ACÉRICOLE

IMPORTANCE DE L'INDUSTRIE ACÉRICOLE

L'industrie de l'érable du Québec regroupe 10 000 producteurs acéricoles dont 7 000 ont un boisé de 1 200 entailles** et plus. D'après le Bureau de la Statistique du Québec, pour la période de 1979 à 1985 inclusivement, la production annuelle a varié entre 7,3 et 13,5 millions de litres de sirop d'érable prélevés sur 13,2 à 15,8 millions d'entailles. En 1985, le prix moyen du sirop vendu au détail a été de 4,37 dollars de litre et le prix moyen du sirop écoulé en vrac, de 2,91 dollars le litre (Tableau 3).

On estime que l'industrie acéricole engendre annuellement comme valeur totale à la ferme près de 40 millions de dollars. La majorité de ce revenu à la ferme est produit dans des régions marginales pour l'agriculture et contribue à stabiliser la population rurale et à maintenir une activité agricole et forestière sur l'ensemble du territoire.

De plus, la production de sirop d'érable du Québec représente 89,1 p. 100 de la production canadienne et en 1985, on a exporté 7 205 tonnes de sirop aux États-Unis (88,4 p. 100), au Japon et en Allemagne (Routin, 1986).

---

* Par volume marchand brut, on entend le volume ligneux du tronc et des branches de 9 centimètres et plus au fin bout.

** Le nombre d'entailles que peut porter un érable est d'une par classe de 20 centimètres de diamètre à hauteur de poitrine: exemple, 1 érable de 40 centimètres pourra porter 2 entailles.

TABLEAU 1
Volume marchand brut en millions de mètres cubes selon les régions administratives du M.E.R. et selon les essences.

Région administrative du M.E.R.: forêt publique et privée	Bouleau à papier	Peuplier	Bouleau jaune	Érable	Autres feuillus nobles	Total feuillus	Total feuillus et résineux
01 Bas-Saint-Laurent-Gaspésie	15,1	21,6	7,4	13,9	1,8	60,0	309,2
02 Saguenay-Lac Saint-Jean	80,1	44,9	2,6	0,9	—	128,6	880,6
03 Québec	17,4	9,3	14,7	29,9	5,0	76,2	192,9
04 Trois-Rivières	46,1	33,3	18,9	22,4	6,1	126,8	320,3
05 Estrie	1,8	3,7	5,2	25,9	6,2	42,8	62,2
06 Montréal	12,8	13,7	16,3	39,0	10,4	92,3	149,3
07 Outaouais	49,1	37,4	53,3	78,1	34,6	252,6	467,9
08 Abitibi-Témiscamingue	57,5	74,4	17,6	15,5	2,7	167,7	676,1
09 Côte-Nord	55,7	20,6	—	—	—	76,4	1 032,5
Total*	335,0	261,5	138,9	228,8	69,5	1 033,7	4 085,9

* Les sommes des différentes colonnes ou lignes ne correspondent pas exactement, à cause de l'arrondissement des chiffres

Ce tableau est tiré de: Parent, B., 1985, p. 15

TABLEAU 2
Volume marchand brut en millions de mètres cubes selon les régions administratives du M.E.R. et selon les essences feuillues nobles.

Région administrative du MER.: forêt privée	Bouleau jaune	Erable	Autres feuillus nobles
01 Bas-Saint-Laurent-Gaspésie	2,1	5,8	0,7
02 Saguenay-Lac Saint-Jean	0,2	0,3	0,1
03 Québec	7,6	26,6	4,1
04 Trois-Rivières	3,5	11,5	3,9
05 Estrie	4,1	24,1	5,9
06 Montréal	3,2	23,4	8,0
07 Outaouais	3,9	17,3	12,0
08 Abitibi-Témiscamingue	Traces	0,1	—
09 Côte-Nord	Traces	Traces	—
Total*	24,4	107,5	34,3

* Les sommes des différentes colonnes ne correspondent pas exactement, à cause de l'arrondissement des chiffres

Ce tableau est tiré de: Parent, B., 1985, p. 15

TABLEAU 3
La production de sirop d'érable du Québec: 1979-1985.

Année	Nombre d'entailles	Production	Rendement	Prix du sirop			
				Ventes au détail	Ventes en vrac	Prix moyen	
	millions	1 000 litres	litre/entaille	$/litre	$/kg	$/kg	millions $
1979	13,6	9 819	0,72	3,38	1,98	2,20	28,5
1980	14,7	10 912	0,74	3,69	1,96	2,29	32,9
1981	15,8	13 458	0,85	3,79	1,74	2,16	38,3
1982	13,4	7 786	0,58	3,52	1,54	2,25	23,1
1983	13,6	8 270	0,61	3,47	1,56	2,23	24,3
1984	13,2	7 273	0,55	3,70	1,96	2,45	23,5
1985	14,0	9 200	0,66	4,37	2,91*	3,13*	38,0

* Estimation

Ces chiffres proviennent du Bureau de la Statistique du Québec et de Boutin, G., 1986

PERTES DUES AU DÉPÉRISSEMENT

Une enquête postale menée en décembre 1982 par le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec auprès de 7 000 producteurs acéricoles (2 350 répondants) démontrait que le potentiel d'entailles avait diminué de 9 p. 100 dans la Beauce, de 7 p. 100 dans la région de Nicolet et de 8 p. 100 dans l'Estrie au cours des années 1980, 1981 et 1982; pour l'ensemble du Québec, on estimait alors que les pertes s'élevaient à plus de 1 million d'entailles. L'enquête démontrait que le taux de mortalité des érables s'est accru chaque année; ainsi, dans la Beauce, sur un potentiel initial de 2 405 000 entailles retenues pour l'enquête, on a perdu par mortalité 26 000 entailles en 1980, 65 650 entailles en 1981 et 123 424 entailles en 1982. Les années subséquentes, le taux de mortalité a continué à augmenter car les arbres qui ont commencé à dépérir sont voués à une mort certaine.

Une seconde enquête postale a été menée en décembre 1984 par la société coopérative "Les producteurs de sucre d'érable du Québec" qui regroupe 3 500 membres dans les 51 comtés acéricoles de la province. Cette étude "a fait ressortir que 1 300 membres-producteurs environ faisaient face au dépérissement de leurs érablières pour un pourcentage variant de 5 p. 100 et plus et que près de 300 000 érables des membres étaient gravement affectés "(Rioux, 1985).

Un troisième sondage effectuée en juillet 1985 par l'Union des producteurs agricoles auprès de 7 953 de ses membres (2 172 répondants), évaluait le nombre d'entailles perdues à 2 millions dont près de 1 million dans la Beauce. D'après une étude de Louis Ménard, agro-économiste (1985), les plus forts taux de mortalité due au dépérissement se retrouvent, par ordre d'importance, dans les érablières de la Beauce (18 p. 100), de Sherbrooke (18 p. 100), de l'Abitibi-Témiscamingue (18 p. 100), de Québec (15 p. 100), de la Mauricie (14 p. 100), de Nicolet (13 p. 100); la région la moins touchée est celle de Lanaudière (8 p. 100). On constate donc que que le dépérissement est présent partout.

Ces données concordent avec le relevé général réalisé par le personnel du Service de la protection contre les insectes et les maladies du ministère de l'Énergie et des Ressources au cours de la saison de croissance 1985. "Les secteurs les plus affectés par le phénomène sont la rive sud des régions de Québec (03). et de Trois-Rivières (04) et la région de l'Estrie (05). Cependant, "le dépérissement atteint maintenant la rive-nord du Saint-Laurent dans un corridor entre Sainte-Anne-de-Beaupré et Louiseville; les secteurs des Laurentides, dans le nord de Montréal, de Lanaudière, les vallées des principales rivières de la région de l'Outaouais et la région du Témiscamingue possèdent également des peuplements affectés par le dépérissement". (Bonneau, 1986, p. 7). Ce relevé indique également que, bien que l'érable à sucre demeure l'essence la plus touchée, on retrouve du dépérissement chez le bouleau jaune, le chêne rouge, le hêtre, les frênes et le cerisier tardif.

CONCLUSION

Depuis 1980, le dépérissement ne cesse de s'accroître. Au début, on observait ce phénomène surtout dans le sud des régions administratives de Québec (03) et de Trois-Rivières (04) et dans l'Estrie (05).

L'enquête postale effectuée en décembre 1982 par le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec estimait que les pertes subies par les acériculteurs s'élevaient à plus de 1 million d'entailles pour l'ensemble du Québec. Une enquête semblable menée en juillet 1985 par l'Union des producteurs agricoles évaluait le nombre d'entailles perdues à 2 millions.

Le relevé général réalisé par le Service de protection contre les insectes et maladies à l'été 1985 a permis d'observer des symptômes de dépérissement non seulement au sud du Saint-Laurent, mais dans toute la zone bioclimatique de l'érablière. De plus, ce relevé de même que les travaux du Service de la recherche appliquée démontrent qu'actuellement, le dépérissement atteint presque toutes les essences feuillues tant dans les peuplements aménagés pour la production de sirop d'érable que dans ceux qui sont aménagés pour le bois d'oeuvre.

Par conséquent, puisque le dépérissement s'accroît de façon progressive tant en superficie qu'en intensité et que par la diversité des essences atteintes, on peut affirmer que c'est l'ensemble de la forêt feuillue du Québec qui est menacée.

Quant aux résineux, on soupçonne qu'ils sont également affectés. En effet, à l'automne 1985, on a constaté un jaunissement et une chute prématurée des vieilles aiguilles chez le sapin et l'épinette blanche dans le secteur même où le dépérissement des feuillus est le plus grave (Bonneau, 1986, p. 13).

Il est donc urgent de mettre en oeuvre tous les moyens nécessaires pour sauver cette grande richesse si précieuse pour le Québec, sa forêt.

BIBLIOGRAPHIE

ALLARD, G., 1983. L'aménagement et le dépérissement dans les érablières. La Terre de Chez Nous. Dossier d'information technique et professionnel, 1(5), 23 juin 1983.

BONNEAU, G., PICHER, R. et D. LACHANCE, 1986. Insectes et maladies des arbres. Québec - 1985. Supplément de Forêt Conservation, 52 (10), mars 1986.

BOUTIN, G., 1986. Le point sur la mise en marché du sirop d'érable. Colloque sur les produits de l'érable. Granby, le 5 février 1986.

MÉNARD, L., 1985. Évaluation des pertes encourues par les producteurs de sucre et de sirop d'érable au Québec à l'automne 85. Service d'études et de recherche. L'Union des Producteurs Agricoles. Rapport interne, 21 p.

PARENT, B., 1985. Ressources et industrie forestière. Portrait statistique. Édition 1985. Direction des communications, ministère de l'Énergie et des Ressources. Publication n° 3185, 52 p. (Version anglaise disponible).

RIOUX, G., 1985. Importante enquête sur le problème de l'assèchement des érablières. Le Coopérateur Agricole, 14 (4), avril 1985, p. 32.

THIBAULT, M., 1985. Les régions écologiques du Québec méridional. Service de la cartographie, ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec.

ÉTAT DES RECHERCHES SUR LE DÉPÉRISSEMENT AU MINISTÈRE DE L'ÉNERGIE ET DES RESSOURCES

Conférence présentée le
8 mai 1986 lors de la journée
d'information sur l'acériculture

Préparée par:

Gilles Gagnon, ing. f. M. Sc.
Gabriel Roy, ing. f.
Clément Gravel tech. f. et
Jocelyn Gagné, ing. f.

Service de la recherche appliquée
Ministère de l'Énergie et des Ressources
Sainte-Foy

INTRODUCTION

Nous sommes heureux de participer à cette journée d'information relative au dépérissement des érablières. Notre intention est de vous communiquer les résultats de trois années de recherche en vue de déterminer l'ampleur du dépérissement et son évolution, d'en connaître les causes et de suggérer des moyens de le combattre ou d'en réduire les effets.

ACTIONS ENTREPRISES

Notre engagement dans l'étude du dépérissement remonte au printemps 1983 à la suite des recommandations d'un groupe de travail qui avait été mandaté par le sous-ministre associé aux Forêts afin de proposer un programme de recherche et des actions à entreprendre. Le programme initial prévoyait des recherches sur le cycle nutritif des éléments, sur les éléments pathogènes qui interviennent dans le phénomène et sur l'influence de différentes variables écologiques qui sont susceptibles de provoquer le dépérissement ou d'y contribuer.

C'est sur ce dernier sujet, soit l'étude de l'influence des différentes variables écologiques sur l'évolution du dépérissement, que le groupe de chercheurs du ministère de l'Énergie et des Ressources a concentré ses activités. Nous avons voulu connaître les rôles qu'ont pu jouer les épidémies de livrée des forêts (*Malacosoma disstria* Hbn.), le dégel de 1981 et les faibles précipitations du printemps de 1982. Nous avons voulu connaître également l'effet des différentes interventions qui se pratiquent dans les érablières, soit les méthodes d'entaillage, la coupe des essences compagnes, les éclaircies et le pâturage par les animaux domestiques. Nous considérions qu'il était important aussi de connaître l'influence des diverses variables du milieu, comme le régime d'humidité du sol, l'épaisseur des dépôts, la pente, l'exposition, le régime nutritif, etc., toujours en relation avec les différents degrés de dépérissement et de son évolution.

SYMPTÔMES DU DÉPÉRISSEMENT

Afin d'évaluer l'importance du dépérissement, il a fallu d'abord décortiquer les différentes phases du phénomène. Notre première constatation a été de réaliser que le dépérissement est un phénomène insidieux. Il faut en effet un oeil averti pour déceler les arbres légèrement atteints. Chaque année, en effet, la forêt est moins belle, mais on s'y habitue et on trouve normal que des arbres sèchent le long des chemins carrossables et autour de la cabane à sucre.

Cependant, il existe une différence entre les arbres qui meurent normalement et ceux qui meurent de dépérissement; ces derniers se caractérisent par les symptômes suivants:

- le déploiement de feuilles plus petites et plus pâles et qui ont tendance à se colorer plus tôt à l'automne; ces feuilles sont souvent chlorosées et nécrosées;

- la perte graduelle du feuillage à partir du pourtour de la cime, qui se rétrécit graduellement jusqu'à la mort de l'arbre;

- le décollement de l'écorce sur les branches maîtresses et sur le tronc;

- le ralentissement de la vitesse de cicatrisation des entailles et du taux de croissance en diamètre; les branches tertiaires ne poussent presque plus.

De plus, l'ouverture du couvert forestier provoquée par la perte du feuillage et la mort des arbres favorise le développement et la croissance des espèces herbacées, arbustives et arborescentes qui forment le sous-bois.

MÉTHODOLOGIE

Afin d'analyser la part des différentes variables écologiques dans le phénomène du dépérissement et afin de vérifier les hypothèses de départ, nous avons établi 130 places d'étude semi-permanentes au cours des étés 1983 et 1984 dans les Appalaches, plus particulièrement dans les districts électoraux de Beauce-Nord, Beauce-Sud, Mégantic-Compton, Frontenac et Arthabaska. La majorité de ces places d'étude ont été choisies à la suite de l'enquête postale effectuée par le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation à l'automne 1982.

Chacune de ces places a fait l'objet d'une étude phyto-écologique, c'est-à-dire que l'on a classifié les érablières selon leurs affinités écologiques. On a ainsi dénombré et évalué les arbres, les arbustes et les plantes herbacées. On a déterminé le type de sol de chaque milieu et analysé son régime nutritif. On a également mesuré et évalué toutes les conditions du milieu soit la pente, l'exposition, l'altitude et le régime hydrique. On a mesuré les caractéristiques dendrométriques du peuplement afin de déterminer l'âge, le nombre de tiges à l'hectare, la surface terrière, le volume et l'accroissement. Après avoir numéroté chaque arbre de cette place d'étude, on a évalué leur état de santé afin de connaître son degré de dépérissement, les autres maladies et les insectes qui l'affectent. Enfin, on a noté les épidémies dont le peuplement a été affecté depuis une dizaine d'années de même que les principaux accidents climatologiques qui se sont produits au cours de cette période.

À l'été 1985, on a réévalué le dépérissement dans toutes les places d'étude établies en 1983 et 1984 afin de connaître l'évolution du dépérissement. On a également établi 65 nouvelles places dans les Appalaches, dans les Basses Laurentides et dans les plaines du Saint-Laurent et de l'Outaouais.

C'est une nouvelle enquête postale, effectuée cette fois à l'automne 1984 par la société coopérative "Les producteurs de sucre d'érable du Québec", qui nous a guidé dans l'établissement des nouvelles places d'étude.

RÉSULTATS

À la suite de l'analyse de nos dossiers, nous vous communiquons les résultats de nos recherches selon cinq thèmes principaux, soit:

- les caractéristiques des groupements étudiés sur le territoire,
- l'évolution du dépérissement,
- les caractéristiques chimiques des sols,
- les caractéristiques dendrométriques et
- les caractéristiques des places d'études établies en 1985.

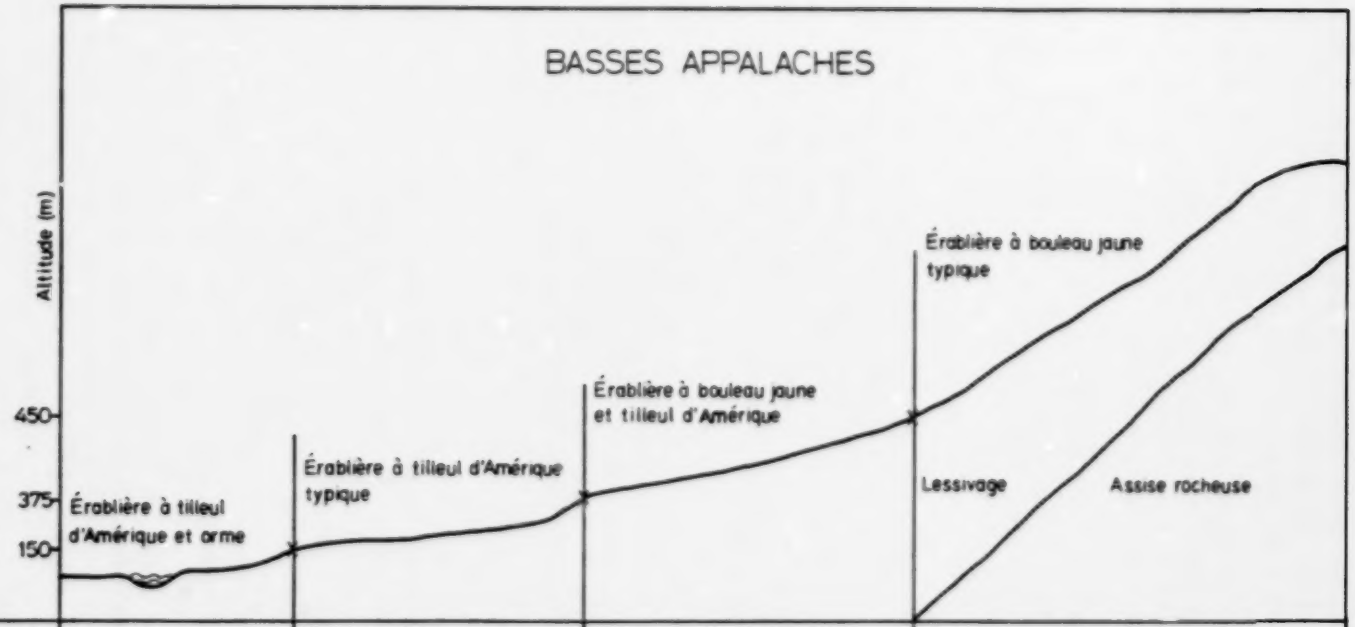
CARACTÉRISTIQUES DES ÉRABLIÈRES DES APPALACHES

Tout le monde sait sans doute que les groupements forestiers en général, et particulièrement les érablières, évoluent sur différents milieux. Ainsi, notre première préoccupation a été de déterminer les caractéristiques des différentes érablières des Appalaches afin de connaître leur comportement face au dépérissement.

La classification phyto-écologique de nos 130 places d'étude nous a permis de diviser la région étudiée en deux secteurs, soit les Basses Appalaches et les Hautes Appalaches, puis de distinguer huit groupements d'érablières dont six principaux. Les sères physiographiques de ces deux secteurs nous permettent de situer ces groupements.

La sère physiographique des Basses Appalaches (figure 1a) représente la répartition végétale des contreforts des Appalaches et d'une partie de la plaine du Saint-Laurent. La physionomie de ce secteur est caractérisée par des buttons ou collines de faible altitude entrecoupés de terrains plats. Ce milieu rassemble généralement des érablières à tilleul d'Amérique *(Tilia americana* L.). Ces érablières sont caractérisées par des facteurs d'habitat très favorables à la croissance et à l'expansion de l'érable à sucre *(Acer saccharum* Marsh.).

Nous pouvons ainsi reconnaître l'érablière à tilleul et orme d'Amérique qui colonise les platières des basses altitudes. Ce groupement demeure facile à identifier par la présence de tilleul, d'orme d'Amérique *(Ulmus americana* L.) et de frêne noir *(Fraxinus nigra* Marsh.). En outre, ce type d'érablière s'établit fréquemment près d'un cours d'eau secondaire, sur des colluvions dont le drainage varie de bon à mauvais. Le type de sol est généralement un brunisol avec un humus de type mull et un pH voisin de la neutralité. Ces érablières représentent souvent des peuplements de faibles superficies. À cause de ces caractéristiques écologiques favorables, le dépérissement y demeure faible et peu marqué.



Sols (morphologques)	Brunisol dystrique	Brunisol mélanique Brunisol dystrique	Brunisol dystrique Podzol humo-ferrique	Podzol humo-ferrique
Dépôt de surface	Colluvions	Till épais	Till épais	Till
Situation topographique	Platière	Platière	Bas de pente à mi-pente	Mi-pente à haut de pente
Drainage	Bon à mauvais	Bon	Bon	Bon à rapide
Taux de dépérissement	Faible	Faible	Faible	Modéré

Figure 1a : Sère physiographique des Basses Appalaches

L'érablière à tilleul d'Amérique s'installe sur les pentes douces, généralement au bas des collines. Le frêne d'Amérique *(Fraxinus americana* L.), l'ostryer de Virginie *(Ostrya virginiana* (Mill.) K. Koch) et le cerisier tardif *(Prunus serotina* Enrh.) accompagnent l'érable et le tilleul.

Les dépôts sont généralement des tills épais et bien drainés qui ont développé des brunisols riches, bien pourvus en éléments nutritifs et dont l'humus est de type mull peu acide. Tout comme dans l'érablière à tilleul et orme d'Amérique, nous n'observons que peu de dépérissement dans ces érablières.

À mi-pente, nous observons l'érablière à bouleau jaune et tilleul d'Amérique. Ce groupement correspond à un peuplement de transition entre les érablières à tilleul et les érablières à bouleau jaune. Le frêne d'Amérique perd graduellement de l'importance au profit des bouleaux jaunes *(Betula alleghaniensis* Britton).

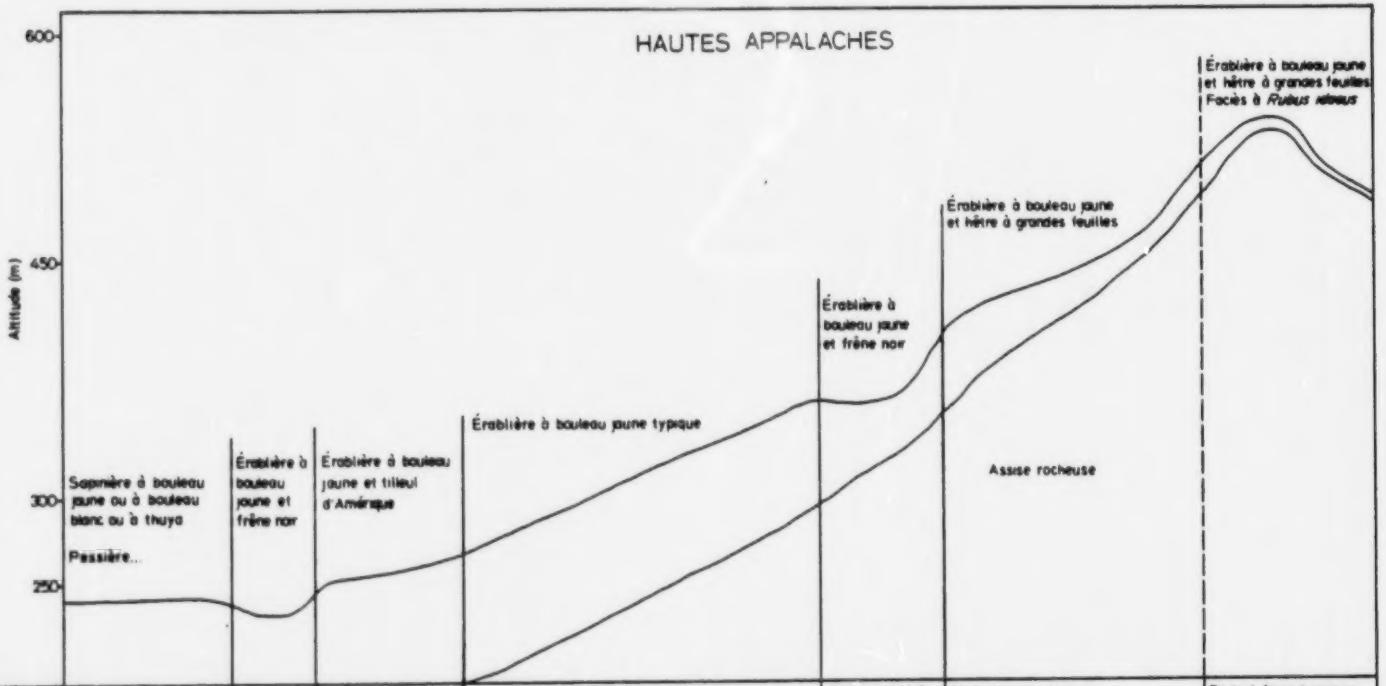
Les dépôts de surface demeurent généralement des tills épais bien drainés. Cependant, les sols présentent un régime nutritif moins riche que dans les deux groupements précédents, avec un humus de type moder. Avec l'altitude, les brunisols font graduellement place aux podzols. Le régime nutritif de ces sols étant un peu moins favorable, le taux de dépérissement tend, par conséquent, à augmenter. Ici toutefois, cette maladie est surtout dans sa phase juvénile.

Sur le haut des collines nous observons l'érablière à bouleau jaune. Outre l'érable à sucre, le bouleau jaune remplace la quasi totalité des essences méridionales précédentes. Les dépôts de surface demeurent un till d'épaisseur variable ayant un drainage variant de bon à rapide. Les sols ont évolué vers des podzols avec un humus variant du moder au mor. Le lessivage des éléments nutritifs représente un élément majeur de cet habitat. Le taux de dépérissement dans ce type d'érablière est nettement supérieur à celui des groupements précédents.

Le secteur des Hautes Appalaches, pour sa part, est d'un relief beaucoup plus accentué. Les érablières colonisent les montagnes jusqu'à 800 mètres d'altitude. Au delà, ce sont les groupements résineux qui prennent place. Signalons aussi que le bas des montagnes, trop humide pour le développement des érablières, est occupé également par des résineux.

La sère physiographique représentée par la figure 1b illustre la répartition des différents types d'érablières.

L'érablière à bouleau jaune et frêne noir s'établit uniquement à l'intérieur de dépressions mal drainées, soit au bas des collines soit en altitude. Ceci illustre bien que ce groupement provient d'une particularité édaphique, soit l'humidité. Il existe cependant quelques différences entre les érablières établies au bas des pentes et celles situées en altitude. Au bas des pentes, le lessivage des éléments nutritifs provenant de la pente adjacente permet à certaines essences plus exigeantes comme le cerisier tardif de s'installer, alors qu'en altitude, les résineux dont le sapin baumier *(Abies balsamea* (L.) Mill.) sont omniprésents.



Sols (morphologiques)		Gleysol	Podzol humo-ferrique	Podzol humo-ferrique	Podzol gleyifié ou gleysol	Podzol humo-ferrique	Podzol ferro-humique
Dépôt de surface		Till épais	Till épais	Till	Till	Till mince	Affleurement, till mince
Situation topographique		Bas de pente Dépression	Pente faible à bas de pente	Pente moyenne	Dépression	Pente moyenne à forte	Haut sommet, crête
Drainage		Mauvais	Bon	Bon	Mauvais	Rapide	Très rapide, seepage
Dépérissement		Élevé	Faible	Faible à modéré	Élevé	Modéré à élevé	Très élevé

Figure 1b. Sère physiographique des Hautes Appalaches

Les dépôts de surface sont généralement des tills d'épaisseur variable selon la position dans la sère. Les sols sont généralement des podzols gleyifiés à mi-pente, qui évoluent vers de véritables gleysols au bas des pentes. Un moder acide représente le type d'humus le plus fréquemment observé.

De tous les types d'érablières observés, il s'agit du groupement végétal le plus affecté par le dépérissement. Il n'est pas rare de constater que la quasi totalité des tiges montre des symptômes avancés et beaucoup de mortalité.

L'érablière à bouleau jaune et tilleul d'Amérique colonise des sites semblables à ceux des Basses Appalaches. Cependant, dans les Hautes Appalaches ce groupement ne représente que de faibles superficies. Les sols sont surtout représentés par des brunisols dystriques et des podzols humo-ferriques avec humus de type mull à moder, légèrement acide.

Ces stations, avantagées par le lessivage d'éléments nutritifs des pentes adjacentes, stimulent la vigueur et la croissance des espèces. Cette situation augmente la résistance de l'arbre. Cependant, le dépérissement semble plus accentué dans ces mêmes groupements situés en Hautes Appalaches que dans ceux situés dans les Basses Appalaches.

Le groupement le plus représenté dans ce secteur est, sans contredit, l'érablière à bouleau jaune typique. Les critères d'habitat de ces peuplements demeurent les mêmes que dans le cas des Basses Appalaches. Mais, dans ce cas, les conditions écologiques couvrent une plus grande amplitude. Les dépôts de surface sont des tills d'épaisseur variable caractérisés par des podzols humo-ferriques surmontés d'humus de types moder et mor acides. Toutefois, le régime nutritif de ces sols apparaît plus faible que dans celui des Basses Appalaches.

Ce type d'érablière, qualifié de climacique, couvre des superficies importantes. Sa grande amplitude écologique se traduit par des taux de dépérissement très variables.

Le dernier groupement important à décrire est celui de l'érablière à bouleau jaune et hêtre. Ce groupement colonise les hauts versants, les pentes abruptes, les crêtes et les sommets. Sur ces hauts de pente, les conditions écologiques sont plus difficiles pour l'érable.

Le dépôt de surface est un till mince, parfois accompagné d'affleurements rocheux, à drainage rapide. À cause de cette topographie particulière, qui tend à accentuer les pertes d'éléments nutritifs par lessivage, le régime nutritif de ces sols est le plus pauvre de tous les types d'érablières reconnus. Les sols se classent parmi les podzols humo-ferriques et, parfois, les podzols ferro-humiques souvent accompagnés de *seepage* ou drainage latéral. Le type d'humus est généralement un mor, mais quelquefois un moder lorsque les conditions sont favorables.

Les critères d'habitat de ces érablières s'éloignent de l'optimum de croissance de l'érable à sucre. Ces peuplements deviennent alors plus vulnérables aux causes biotiques et abiotiques défavorables. Il n'est pas surprenant d'observer un taux de dépérissement et une mortalité élevés à l'intérieur de ce type d'érablière.

Discussions

La description des groupements que nous venons de faire couvre les principaux types d'érablières des Appalaches. On peut retrouver également d'autres types de groupements comme l'érablière à ostryer de Virginie et l'érablière rouge à érable à sucre, mais ces groupements ne représentent que de faibles superficies et se sont établis à la suite de conditions écologiques particulières. C'est pourquoi nous n'en ferons pas la description.

L'étude de ces groupements et de leur milieu de vie indique que plusieurs facteurs écologiques pourraient contribuer à accentuer le dépérissement. Nous pensons, entre autres, au régime d'humidité du sol, à l'épaisseur des dépôts, au régime nutritif, à l'exposition, à la pente, à l'altitude, etc. Ces facteurs sont, la plupart du temps, reliés les uns aux autres. C'est pourquoi nous devons faire des analyses multivariables afin de déterminer la part de chacune de ces variables.

Cependant, nous avons tenté de déterminer si certaines variables, prises individuellement, ont des relations directes avec le dépérissement. L'analyse du drainage ou régime d'humidité nous montre une parabole (figure 2) où les taux élevés de dépérissement se retrouvent dans les classes de drainage extrêmes. En d'autres mots, les milieux humides colonisés pour les érablières à bouleau jaune et frêne noir et les milieux secs colonisés par l'érablière à bouleau jaune et hêtre sont plus sensibles au dépérissement. Les analyses statistiques indiquent en effet que ce facteur explique près de 20 p. cent du taux de dépérissement au seuil de probabilité de 95 p. cent. En outre, puisque le drainage n'explique pas tout, il existe alors d'autres facteurs qui contribuent à l'évolution de cette maladie. Mais parmi les autres facteurs analysés individuellement comme l'altitude et l'exposition, nous n'avons pu établir de relations directes. Il faut donc procéder par des analyses multivariables.

Ces observations nous amènent à analyser l'évolution du dépérissement selon les divers types écologiques et même selon divers secteurs.

ÉTAT ET ÉVOLUTION DU DÉPÉRISSEMENT

L'étude détaillée de nos 130 places d'étude nous a permis de connaître l'état de santé de chaque arbre. Puisque nous avons réévalué le dépérissement au cours des années subséquentes, nous sommes en mesure de démontrer l'évolution du phénomène.

Tout d'abord, rappelons que nous exprimons le dépérissement de deux façons, soit par l'incidence, soit par la sévérité: l'incidence consiste à déterminer le pourcentage d'arbres atteints, qu'ils soient légèrement ou fortement affectés. La sévérité, pour sa part, est exprimée par un pourcentage qui provient d'une cote attribuée à chaque arbre selon la proportion du feuillage manquant dans l'arbre.

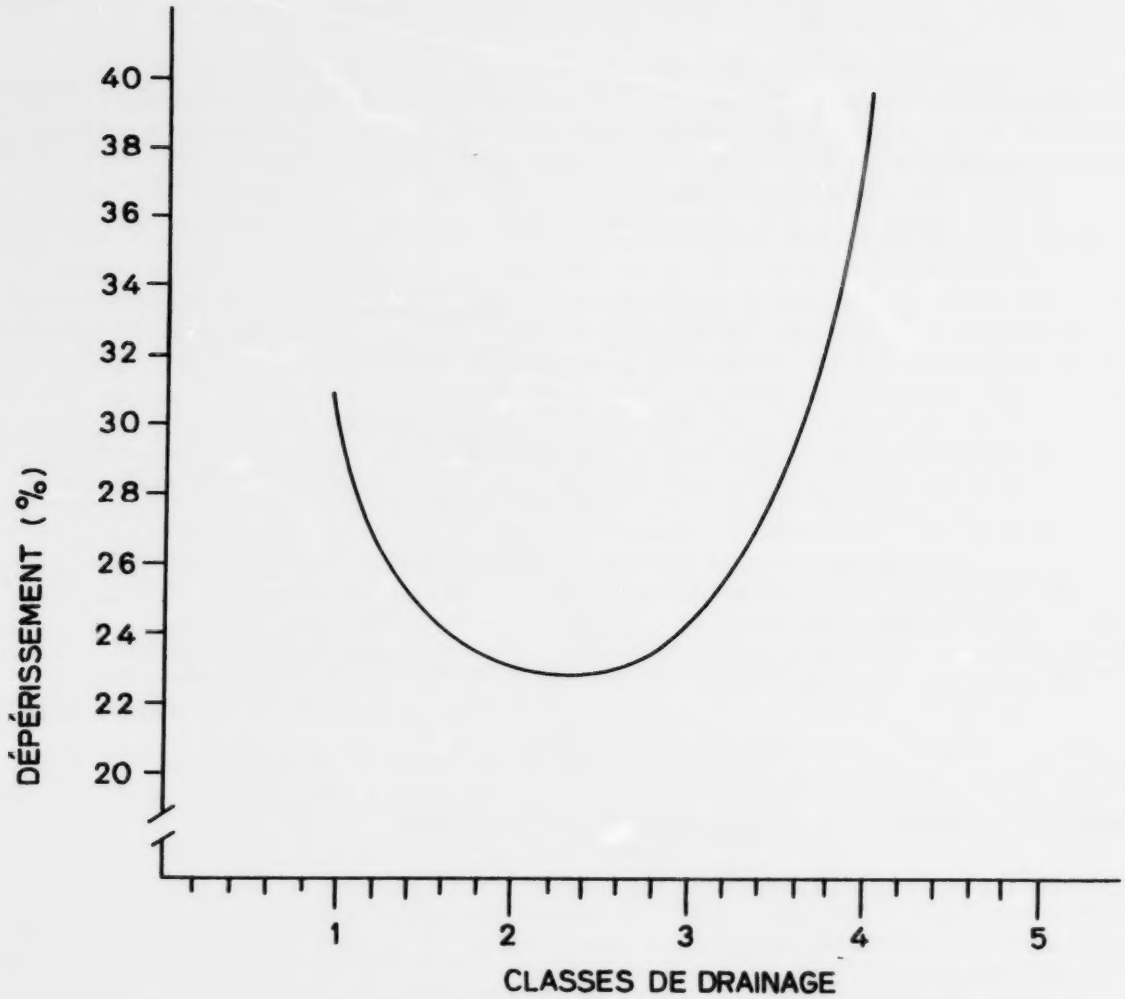


Figure 2 : Importance du dépérissement versus les classes de drainage

Les données que nous présentons ont été compilées selon les groupements d'érablières et selon les secteurs étudiés. De plus, nous avons compilé séparément les places d'étude qui ont été établies en 1983 et celles qui ont été établies en 1984, afin de tenir compte des années de réévaluation.

Le tableau 1 résume l'évolution du dépérissement par type écologique pour les places d'étude établies en 1983. On remarque que les érablières à bouleau jaune et tilleul et les érablières à tilleul typique, au départ, étaient les moins affectées avec 10,4 et 13,2 p. cent de sévérité alors qu'en 1985, elles passent à 15,3 et 25,0 p. cent respectivement. Par contre, ce sont les érablières à bouleau jaune et frêne noir et les érablières à tilleul et orme qui sont les plus touchées avec respectivement 33,5 et 41,1 p. cent en 1983 et 47,2 et 60,2 p. cent en 1985. Notons que l'érablière à tilleul et orme n'est représentée que par un seul relevé.

Les figures que nous vous présentons démontrent encore mieux l'évolution du phénomène. La figure 3 nous montre la valeur moyenne de l'incidence et de la sévérité dans toutes les érablières étudiées depuis 1983. L'incidence, c'est-à-dire le pourcentage des arbres affectés, qui était de 61,8 p. cent en 1983, est passée à 76,4 p. cent en 1984 puis à 81,8 p. cent en 1985. En ce qui concerne la sévérité, ces mêmes érablières passent de 21,6 p. cent en 1983 à 28,0 p. cent en 1984 et à 32,0 p. cent en 1985.

Dans les figures 4 à 7, nous constatons qu'il y a des érablières qui sont moins touchées que d'autres mais la progression du phénomène demeure pratiquement constante d'une érablière à l'autre.

Pour ce qui est des érablières échantillonnées depuis 1984, nous constatons le même phénomène d'augmentation constante (tableau 2 et figures 8 et 9).

Nous avons également compilé nos résultats de façon à connaître quels sont les secteurs les plus affectés. Nous avons ainsi subdivisé la région étudiée en quatre secteurs, soit Saint-Georges, Mégantic, Thetford-Mines et Arthabaska-Lennoxville. Le tableau 3 démontre que les secteurs les plus affectés sont ceux entourant Saint-Georges et Mégantic avec respectivement 25,4 et 24,0 p. cent de sévérité en 1983 et 33,2 et 33,7 p. cent en 1985. Autour de Thetford-Mines le problème, en 1983, ne semblait pas aussi crucial que dans les autres secteurs mais nous constatons (figures 10 et 11) que le phénomène s'est accéléré pour atteindre les mêmes taux en 1985 que dans les autres secteurs, soit plus de 80 p. cent d'incidence et autour de 30 p. cent de sévérité.

Discussions

Vous constatez sans doute comme nous que la situation n'est pas au beau fixe. Tous nos chiffres démontrent qu'il y a progression constante du dépérissement autant en sévérité qu'en incidence. Je crois toutefois que nous pouvons tirer quelques conclusions positives de ces chiffres.

TABLEAU 1
ÉVOLUTION DU DÉPÉRISSEMENT PAR TYPES ÉCOLOGIQUES*

Types écologiques	Moyenne Incidence %			Moyenne Sévérité %		
	1983	1984	1985	1983	1984	1985
Érablière à bouleau jaune typique	65,65	78,0	81,0	25,2	30,2	35,1
Érablière à bouleau jaune et tilleul	44,5	56,1	67,1	10,4	12,3	15,3
Érablière à bouleau jaune et frêne noir	85,3	94,3	95,6	33,5	43,2	47,2
Érablière à bouleau jaune et hêtre	57,6	73,9	80,8	20,9	27,4	32,0
Érablière à érable rouge et érable à sucre	52,2	78,3	84,8	26,8	32,3	37,2
Érablière à tilleul typique	52,7	75,2	80,6	13,2	20,8	25
Érablière à tilleul et orme	94,7	98,2	100	41,1	51,3	60,2

* Ces érablières ont été évaluées en 83-84-85 (58 érablières)

TABLEAU 2
ÉVOLUTION DU DÉPÉRISSEMENT PAR TYPES ÉCOLOGIQUES*

Types écologiques	Moyenne Incidence %			Moyenne Sévérité %		
	1983	1984	1985	1983	1984	1985
Érablière à bouleau jaune typique		70,3	69,5		21,4	24,4
Érablière à bouleau jaune et tilleul		61,8	69,6		12,5	14,7
Érablière à bouleau jaune et frêne noir		89,9	93		39,2	43,3
Érablière à bouleau jaune et hêtre		75,8	79,8		23,2	26,9
Érablière à tilleul typique		70,6	77,4		17,6	21,1
Érablière à tilleul et orme		66,8	70,9		15,0	18,7
Érablière rouge à érable à sucre		74,2	86		25,1	28,7
Érablière à ostryer et hêtre		64,7	68,7		17,9	19,6

* Ces résultats ont été évalués en 84-85 (96 érablières)

TABLEAU 3
ÉVOLUTION DU DÉPÉRISSEMENT PAR RÉGION*

Types écologiques	Moyenne Incidence %			Moyenne Sévérité %		
	1983	1984	1985	1983	1984	1985
Thetford-Mines	39,7	67,2	80,3	13,1	22,6	27,3
Arthabaska-Lennoxville	72,2	83,2	80,2	22,6	27,4	33
Saint-Georges	74,7	80,4	83,3	25,4	30,4	33,2
Mégantic	64,0	77,6	82,1	24	29,9	33,7

* 58 érablières

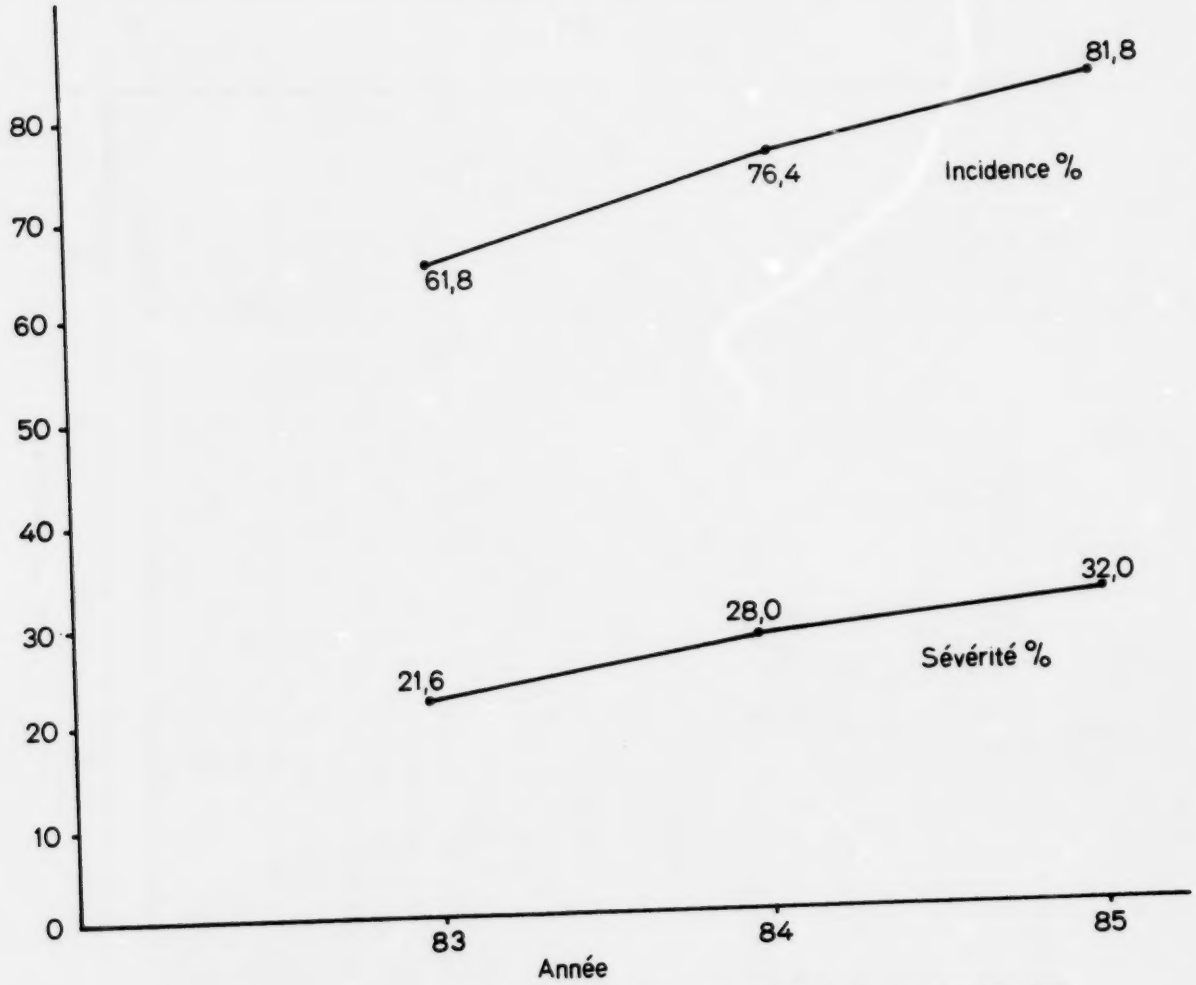


Figure 3 Valeur moyenne approximative d'incidence et de sévérité pour toutes les érablières par rapport à l'année.

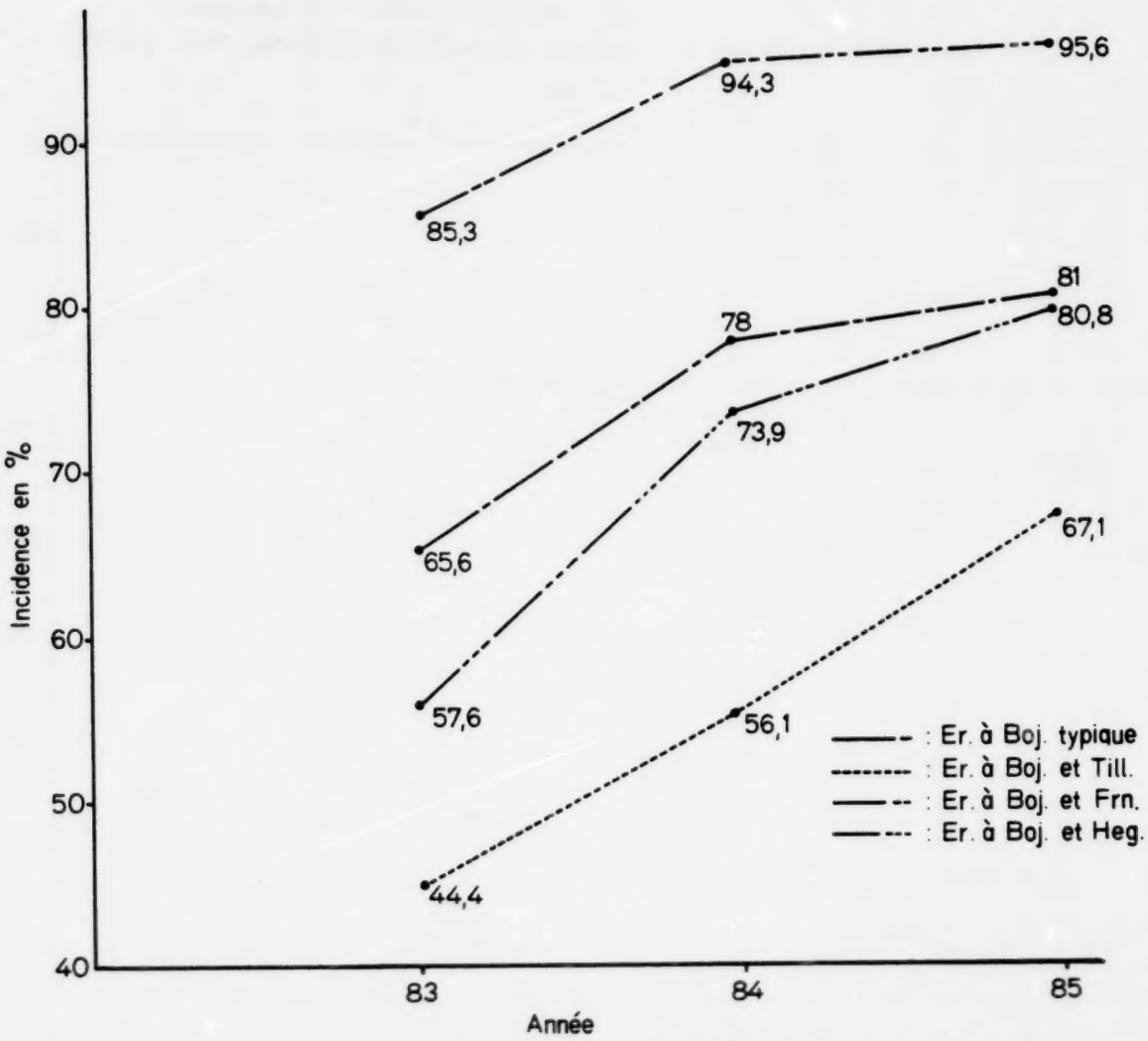


Figure 4 Valeur moyenne d'incidence pour différents types d'érablière par année

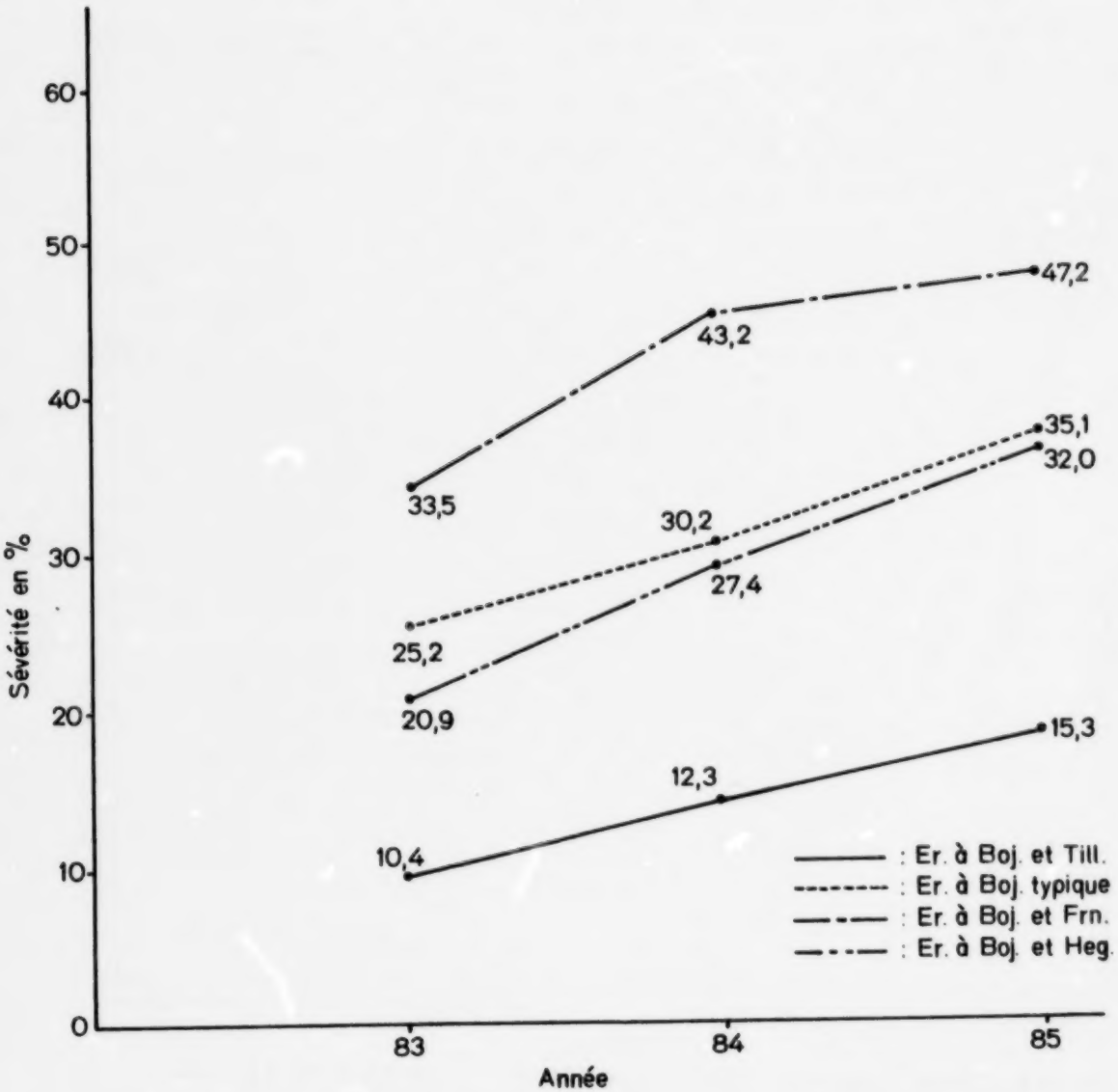


Figure 5 Valeur moyenne de sévérité pour différents types d'érablière par rapport à l'année.

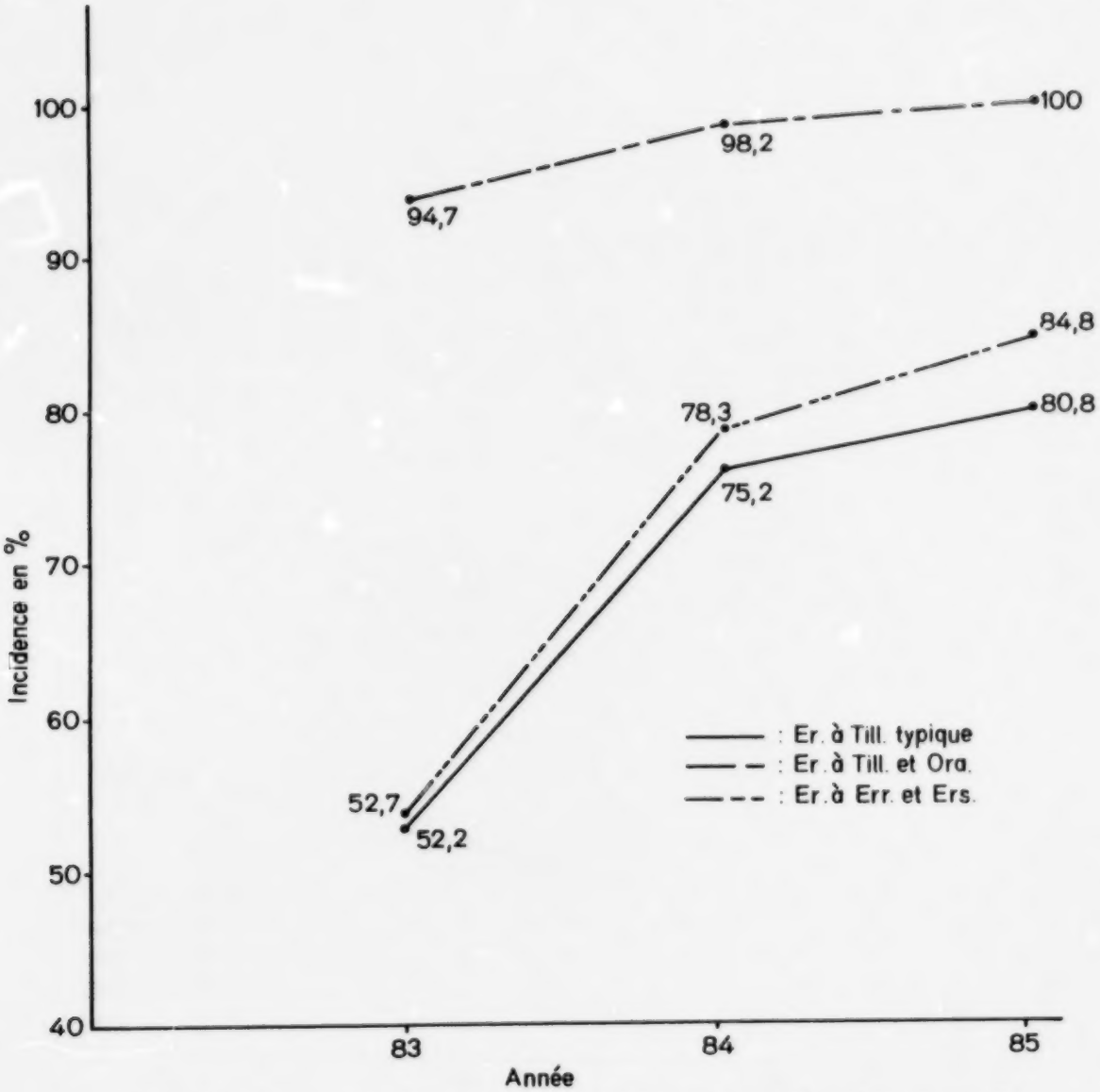


Figure 6 Valeur moyenne d'incidence pour différents types d'érablière par année

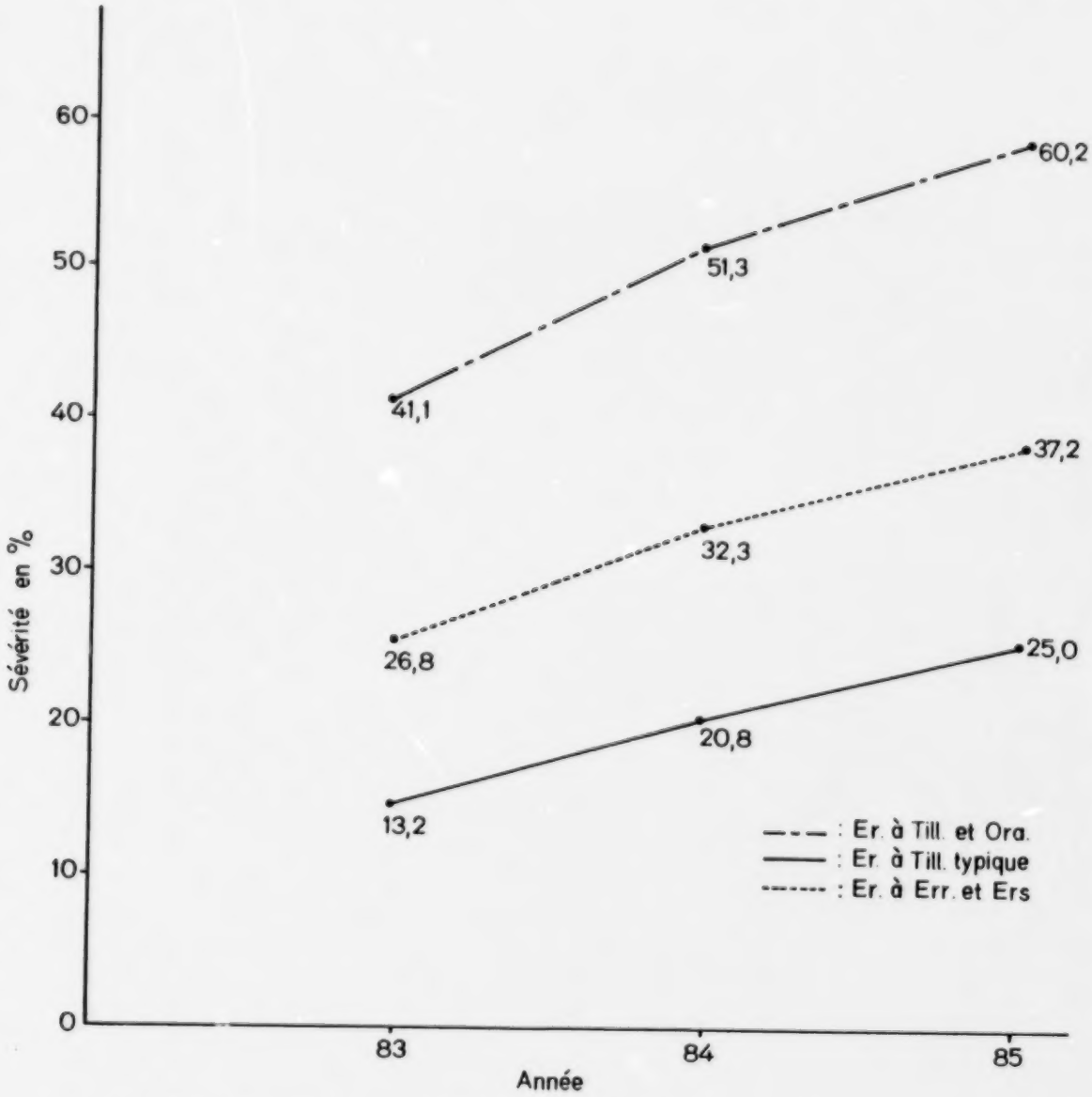


Figure 7 Valeur moyenne de sévérité pour différents types d'érablière par rapport à l'année

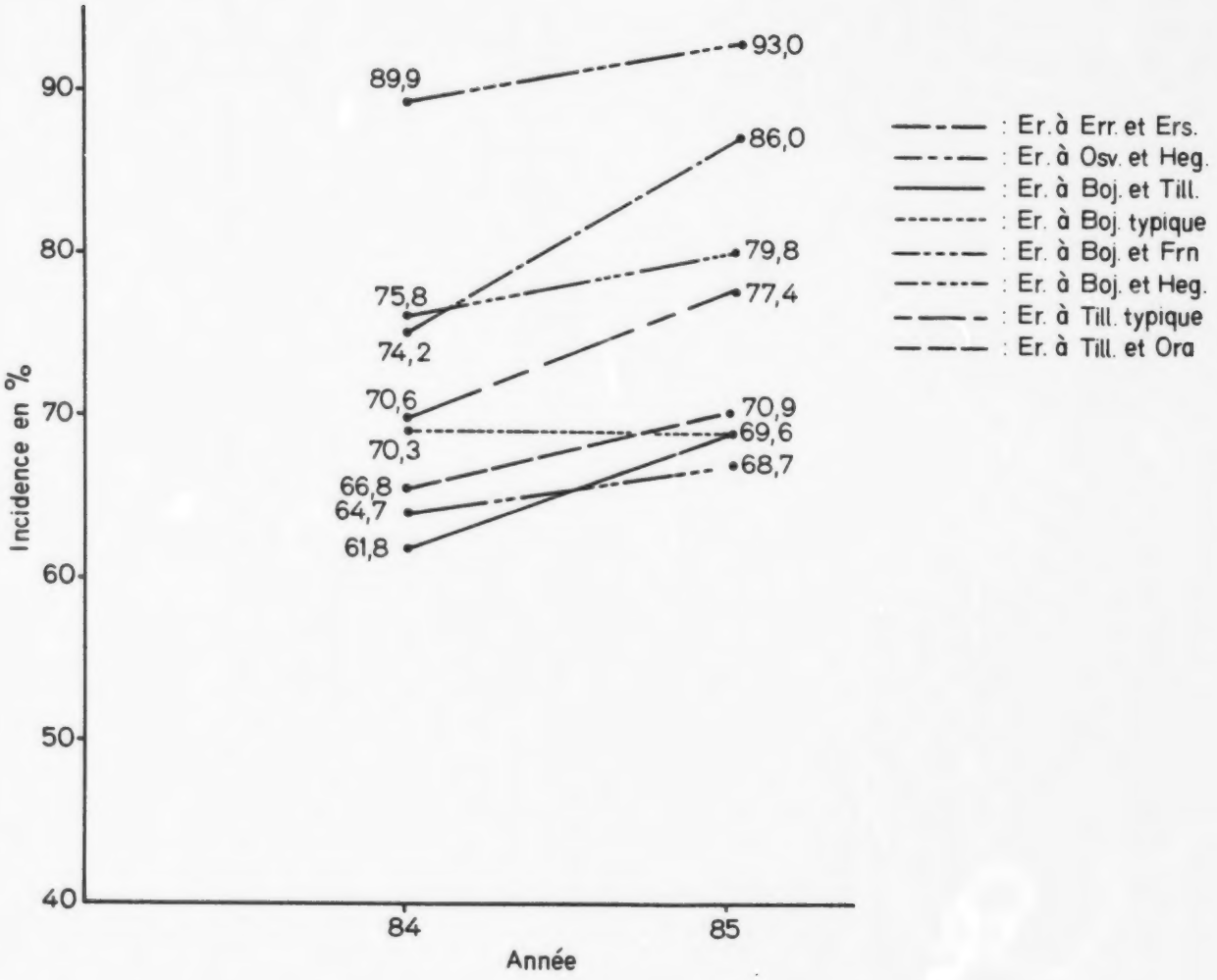


Figure 8 Valeur moyenne d'incidence pour différents types d'érablière par année.

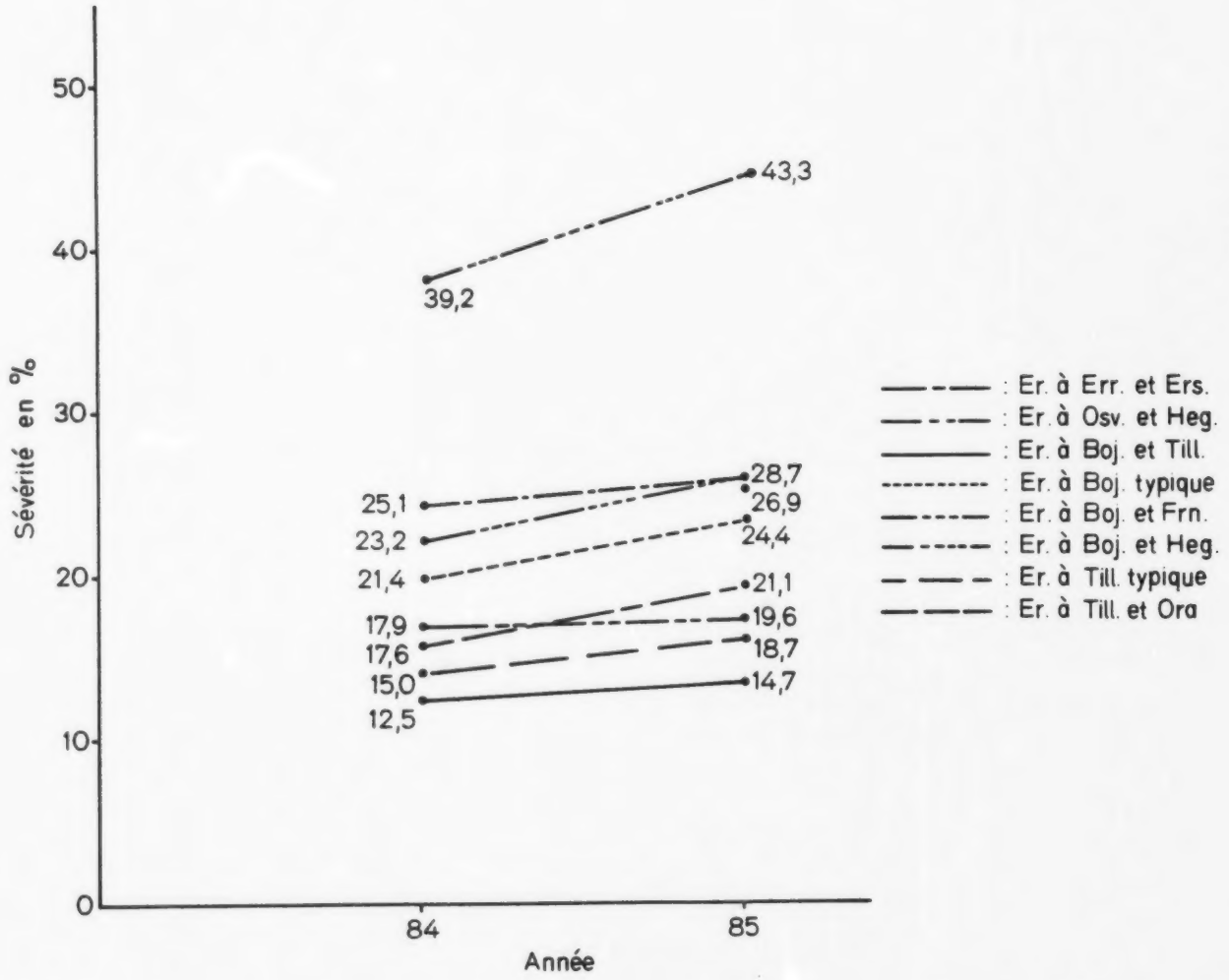


Figure 9 Valeur moyenne de sévérité pour différents types d'érablière par rapport à l'année

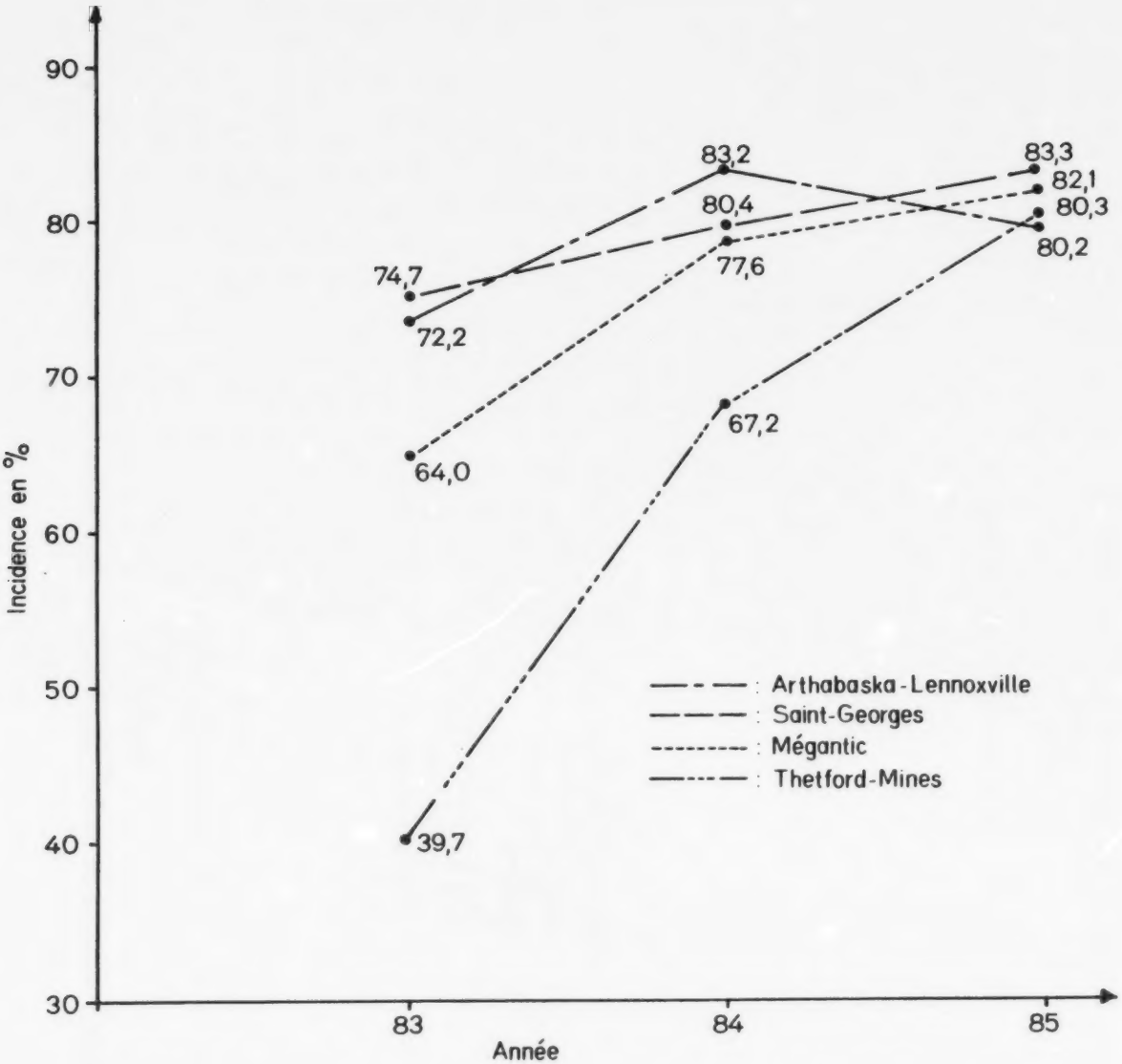


Figure 10 Valeur moyenne d'incidence par région par rapport à l'année.

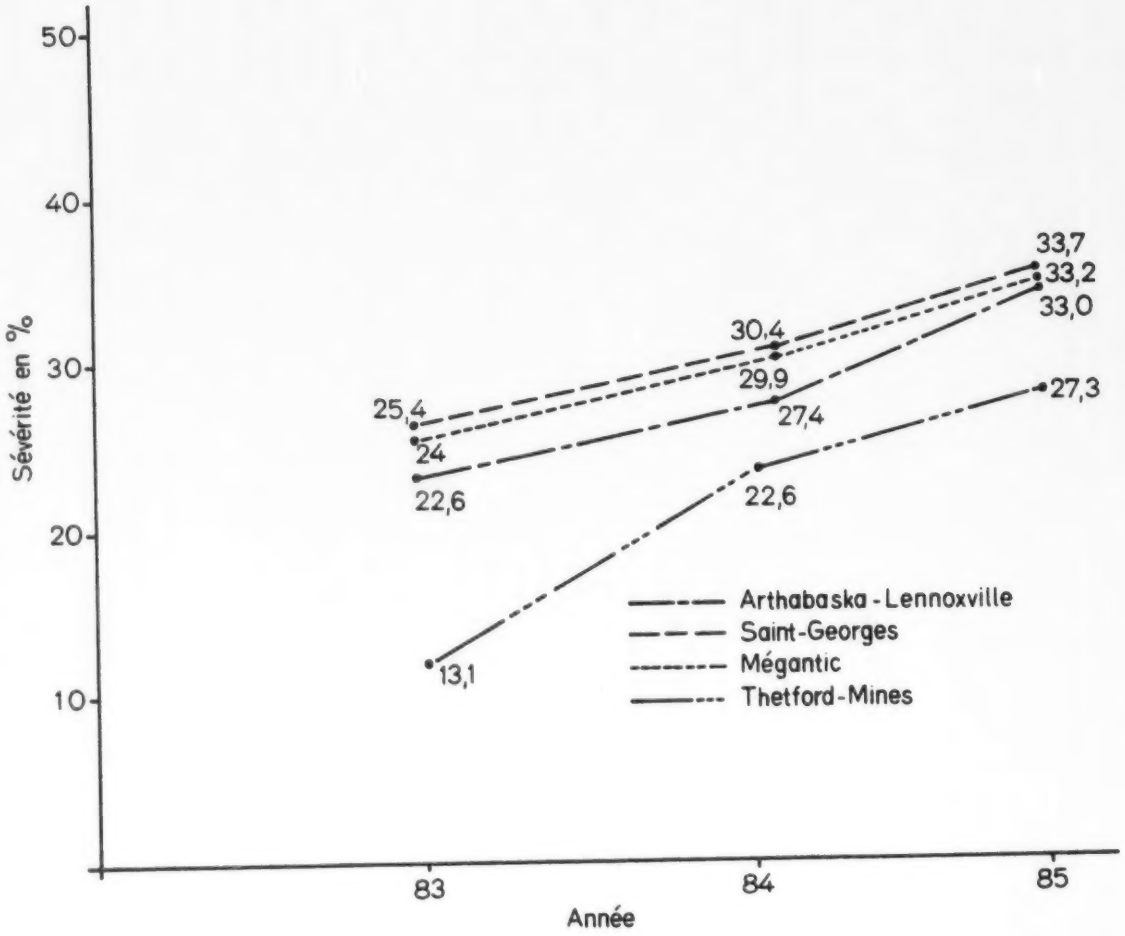


Figure 11 Valeur moyenne de sévérité par région par rapport à l'année

À la lumière de nos résultats, nous pouvons d'abord évaluer ce que nous appellerons l'espérance de vie des érablières. Les érablières qui sont les moins affectées, comme l'érablière à bouleau jaune et tilleul et l'érablière à tilleul typique, ont une espérance de vie plus longue que l'érablière à bouleau jaune et frêne noir par exemple. En effet, si le dépérissement continue à évoluer au même rythme, cela signifie que dans deux ans, 100 p. cent des arbres de ce dernier groupement seront affectés alors que nous pouvons compter encore six ou sept ans avant que les érablières à tilleul typique et les érablières à bouleau jaune et tilleul aient atteint 100 p. cent d'incidence.

Nous croyons important de tirer ces conclusions parce qu'elles influenceront les interventions qui pourraient être effectuées en termes de fertilisation ou d'amendements calcaires si les expériences entreprises dans ce sens sont concluantes. Elles influenceront également les recommandations en termes d'aménagement et même en termes d'investissement. Les activités qui pourront être faites dans ce sens devront sans doute être entreprises dans les types de peuplement qui ont la chance de résister plus longtemps.

LES CARACTÉRISTIQUES ÉDAPHIQUES

Au cours de nos travaux, nous avons attaché une très grande importance à la classification des sols des érablières étudiées de même qu'à leur régime nutritif. À la suite de notre expérience d'une vingtaine d'années dans des études écologiques et particulièrement dans des études de sol, il nous a semblé que le régime nutritif des érablières récemment étudiées était faible. On a constaté particulièrement que la vitesse de minéralisation de l'humus était lente, que les quantités de cations échangeables tels le Ca, le Mg et le K étaient faibles. Il nous semblait même que les pH des différents horizons, particulièrement de l'humus, étaient plus faibles que ceux mesurés dans les années antérieures. De plus, les récents travaux d'Ulrich (1983) en Allemagne sur les effets des précipitations acides sur l'écosystème forestier nous invitaient a soupçonner que les précipitations acides dont nous sommes victimes pourraient avoir des effets néfastes sur nos sols forestiers.

Nous avons alors décidé de vérifier cette hypothèse en échantillonnant et en analysant à nouveau des sols qui avaient déjà été échantillonnés il y a plusieurs années. Après nous être assurés de la localisation exacte des milieux déjà échantillonnés, nous avons réussi à rééchantillonner 53 profils, particulièrement dans la forêt de Lotbinière (Carrier *et al.*, 1976), au mont Mégantic (Marcotte et Grandtner, 1974) et dans les Basses Laurentides (Robitaille et Gagnon, 1974; Gagnon et Marcotte, 1980).

On a par la suite analysé l'humus et le premier horizon B de chacun de ces profils en prenant soin évidemment d'utiliser les mêmes méthodes qui avaient été utilisées auparavant. La description complète de la méthodologie apparaîtra dans une autre communication (Gagnon et Gravel, en prép.).

Les résultats de ces analyses comparatives sont assez révélateurs. Le tableau 4 nous montre en effet que, pour l'humus des 52 stations réanalysées, le pH a diminué dans 60 p. cent des cas, qu'il y eu une augmentation de la matière organique et du rapport carbone-azote dans 71 et 78 p. cent des profils

TABLEAU 4
POURCENTAGE DES RELEVÉS DE L'HUMUS AYANT SUBI UNE DIMINUTION (-)
OU UNE AUGMENTATION (+) DU STATUT NUTRITIF ENTRE 1968 ET 1985

	Lotbinière	Mont-Mégantic	Basses Laurentides	Total des secteurs
N. places	14	13	25	52
pH	- 71,4%	- 69,2%	- 48%	- 59,6%
N	+ 42,9%	+ 61,5%	+ 58,3%	+ 54,9%
M.O.	+ 64,3%	+ 69,2%	+ 76%	+ 71,2%
C/N	+ 64,3%	+ 76,9%	+ 87,5%	+ 78,4%
Ca	- 85,7%	- 69,2%	- 72%	- 75%
Mg	- 85,7%	- 76,9%	- 76%	- 78,8%
K	- 85,7%	+ 84,6%	- 68%	- 59,6%
Somme des cations	- 85,7%	- 69,2%	- 72%	- 75%

respectivement, que les cations échangeables Ca, Mg et K ont diminué respectivement dans 75, 79 et 60 p. cent des cas et que, conséquemment, la somme des cations échangeables a diminué dans 75 p. cent des profils.

Pour le premier horizon B (tableau 5), les 53 stations réanalysées révèlent une diminution du pH dans seulement 36 p. cent des cas mais il y a une augmentation de la matière organique et du rapport carbone-azote dans 56 et 72 p. cent des cas respectivement. Les cations échangeables Ca, Mg et K ont diminué dans 74 p. cent des échantillons réanalysés.

Nous avons constaté toutefois qu'au niveau des secteurs rééchantillonnés il existe certaines particularités. Dans le secteur de Lotbinière par exemple, les cations échangeables Ca, Mg et K de l'humus ont diminué dans 86 p. 100 des cas. De même, dans le secteur des Basses Laurentides, la matière organique et le rapport carbone-azote ont augmenté dans 76 et 88 p. cent des profils échantillonnés même si dans ce secteur, plus de la moitié des profils ont subi une hausse de pH.

Discussions

Il nous apparaît évident que cette étude comparative des résultats des analyses chimiques démontre une perturbation sinon une transformation des sols sur une grande partie du territoire québécois depuis quelques années. Les questions sont maintenant de savoir quelles sont les causes de cette perturbation et quelles en sont les conséquences.

Si nous pensons aux causes qui peuvent provoquer une baisse de pH et une diminution des cations échangeables dans le sol, il y bien sûr les perturbations produites par les feux et les coupes et peut-être par des épidémies d'insectes. Or, il n'y a pas eu de feux ni de coupes dans les milieux rééchantillonnés et il n'y a pas eu d'épidémies d'insectes sauf au mont Mégantic. Nous devons penser alors à des causes extérieures. Nous savons par exemple que le réseau collecteur des précipitations acides du ministère de l'Environnement enregistre des dépôts acides de l'ordre de 40 kg par hectare par année dans les endroits que nous avons rééchantillonnés. Nous sommes donc persuadés que les précipitations acides contribuent activement à cette dégradation des sols.

Il nous est alors permis d'envisager que la baisse de fertilité des sols peut occasionner une perturbation dans le cycle nutritif des éléments et, par conséquent, dans l'état de santé des peuplements. Même si on sait que les érablières peuvent se développer sur des sols ayant peu de réserves d'éléments, un tel système peut être en équilibre fragile face à des perturbations qui entrainent des pertes d'éléments.

ANALYSE DES DONNÉES DENDROMÉTRIQUES

a) Ralentissement de la croissance

Lors d'une communication précédente (Gagnon *et al.*, 1985), nous avions mentionné que les érablières qui étaient atteintes de dépérissement subissaient

TABLEAU 5
POURCENTAGE DES RELEVÉS DE L'HORIZON B AYANT SUBI UNE DIMINUTION (-) OU UNE AUGMENTATION (+) DU STATUT NUTRITIF ENTRE 1968 ET 1985

	Lotbinière	Mont-Mégantic	Basses Laurentides	Total des secteurs
N. places	14	13	26	53
pH	50%	- 76,9%	+ 88%	- 35,8%
N	- 64,3%	+ 53,8%	- 76%	- 63,5%
M.O.	- 57,1%	+ 63,6%	- 69,2%	- 56%
C/N	+ 57,1%	+ 72,7%	+ 80%	+ 72%
Ca	- 57,1%	- 61,5%	- 69,2%	- 64%
Mg	- 71,4%	- 69,2%	- 84,6%	- 77,4%
K	- 78,6%	- 61,5%	- 80,8%	- 75,5%
Somme des cations	- 78,6%	- 69,2%	- 76,9%	- 75,5%

un ralentissement important de leur croissance. En effet, une analyse des anneaux de croissance nous indiquait qu'au cours des cinq dernières années, la diminution moyenne des anneaux de croissance de tous les types d'érablières était de 34,6 p. cent par rapport à la période constituée des dix à vingt dernières années.

Nous avons voulu pousser plus loin cette étude afin de voir si l'ensemble de la forêt subissait une diminution d'accroissement.

Nous avons alors demandé l'aide du Service de l'inventaire forestier de notre ministère. Ce service a un réseau de places-échantillons permanentes à travers le Québec, qui permet de suivre l'évolution du stock forestier. À notre requête, ce service a remesuré les 403 parcelles du sud du Québec, soit de Rivière-du-Loup jusqu'à Valleyfield. Dans les secteurs qui nous intéressent particulièrement, soit Beauce, Mégantic, Thetford-Mines et Arthabaska-Lennoxville, nous avons compté 193 parcelles. Notons que le nombre d'années entre les mesures effectuées est d'environ huit ans.

Cette étude démontre que pour l'ensemble de la zone remesurée, l'accroissement annuel courant net est de 2,9 p. cent (tableau 6). L'Estrie et les secteurs qui ont fait l'objet de notre étude n'ont qu'un accroissement annuel courant de 2,6 p. cent. De plus, à l'aide de la carte du relevé aérien de 1985, nous avons analysé les parcelles permanentes qui étaient dans des zones à moyen et à fort dépérissement. Ainsi, 57 parcelles étaient dans une zone de 10 à 25 p. cent et 11 dans la zone de 25 p. cent et plus. Dans la zone de 10 à 25 p. cent, l'accroissement annuel courant est passée à 2,3 p. cent, soit une diminution d'environ 11 p. cent par rapport à l'ensemble du secteur alors que dans la zone à fort dépérissement, l'accroissement annuel courant n'est plus que de 1,1 p. cent soit une diminution de 58 p. cent par rapport à l'ensemble du secteur.

Il faut noter cependant que le diamètre moyen des arbres qui composent les places-échantillons dans les secteurs à fort dépérissement est de 28,8 cm alors que pour les autres parcelles, le diamètre varie de 18,8 à 20,2 cm.

Il est toutefois évident que les peuplements qui ont plus de 10 p. cent de dépérissement subissent une diminution de leur accroissement annuel courant. Il est donc normal que cette perte d'accroissement se reflète dans la largeur des anneaux de croissance. Il n'est pas surprenant, non plus, de constater que la vitesse de cicatrisation des entailles ait diminuée depuis quelques années puisque ce phénomène est directement lié à la croissance des arbres.

b) Effets de la densité du peuplement sur la classe de dépérissement

Par l'analyse des données dendrométriques nous avons voulu voir si les coupes partielles ou les éclaircies dans les érablières pouvaient influencer le taux de dépérissement. Nous avons alors analysé le nombre de tiges, la surface terrière, le diamètre moyen et le volume marchand moyen pour les principaux types d'érablières déjà identifiés.

TABLEAU 6
ACCROISSEMENT DE L'ÉRABLE À SUCRE DANS DIFFÉRENTS ZONES DU QUÉBEC

	Zone				
	Sud du Québec	Estrie	21L-21E Beauce Mégantic Thetford-Mines Lennoxville	21L-21E Zone de dépérissement moyen 10 à 25 p. cent	21L-21E Zone de forts dépérissement + 25% p. cent
Nombre de parcelles	403	150	193	57	11
Nombre de tiges utilisées	3874	2158	1856	765	120
Accroissement annuel courant net (p. cent)	2,9	2,6	2,6	2,3	1,1
Diamètre moyen (cm)	18,8	20,2	19,3	19,7	28,8
Nombre d'années entre les mesurages	8,41	8,23	8,17	8,34	8,45

Il n'est pas possible, dans le cadre de cette conférence, d'analyser en détail toutes les relations entre ces données. Nous ne retiendrons, comme première approche, que la surface terrière.

À l'analyse des tableaux 7 à 12, nous pouvons conclure qu'en général, plus la surface terrière est élevée, moins le dépérissement est élevé. Ceci est particulièrement évident pour l'érablière à bouleau jaune et hêtre et l'érablière à bouleau jaune et frêne noir, les deux types d'érablières les plus affectés par le dépérissement. En effet, pour l'érablière à bouleau jaune et hêtre (tableau 7), lorsque le dépérissement atteint moins de 10 p. cent, la surface terrière moyenne est de 32,7 m^2 à l'hectare. Par contre, lorsque les places d'études ont plus de 51 p. cent de dépérissement, la surface terrière n'est que de 15,3 m^2 à l'hectare. Notons aussi que la surface terrière des arbres morts passe de 0,36 à 2,8 m^2 à l'hectare.

Les érablières à bouleau jaune et frêne noir (tableau 9) qui ont de 11 à 25 p. cent de dépérissement ont une surface terrière de 31,7 m^2 à l'hectare alors que celles qui ont plus de 51 p. cent de dépérissement n'ont plus que 12 m^2 à l'hectare. La mortalité pour les mêmes classes de dépérissement passe de 0,15 à 5,96 m^2 à l'hectare.

Les érablières les moins affectées par le dépérissement, soit l'érablière à bouleau jaune et tilleul et l'érablière à tilleul typique, ont également les mêmes réactions. Cependant, les écarts sont moins prononcés.

Pour les érablières à bouleau jaune et tilleul (tableau 10) qui ont un taux de dépérissement de moins de 10 p. cent, la surface terrière est de 26,4 m^2 à l'hectare alors que les plus affectées ont 23,6 m^2 à l'hectare. Les érablières à tilleul typique (tableau 11) passent de 25,2 à 24,8 m^2 à l'hectare pour les mêmes classes de dépérissement.

À l'analyse de ces données, il nous semble évident que la densité d'une érablière est une variable qui contribue au dépérissement. En effet, pour toutes les érablières, on remarque que plus la surface terrière est faible, plus le taux de dépérissement est élevé. Cette conclusion est encore plus évidente dans les groupements les plus sensibles soit l'érablière à bouleau jaune et hêtre et l'érablière à bouleau jaune et frêne noir.

Il nous est donc permis de conclure que les éclaircies et les coupes partielles doivent être évitées actuellement, particulièrement dans les peuplements les plus fragiles.

CARACTÉRISTIQUES DES PLACES D'ÉTUDE DE 1985

Au cours de l'été 1985, nous avons rééchantillonné 65 nouvelles places d'étude à travers le Québec méridional. Cette étude nous a permis de comparer les divers facteurs écologiques avec ceux des érablières de la Beauce.

TABLEAU 7
CARACTÉRISTIQUES DENDROMÉTRIQUES DE L'ÉRABLIÈRE À BOULEAU JAUNE ET HÊTRE SELON LA CLASSE DE DÉPÉRISSEMENT

Classe de dépérissement (p. cent)	Nombre de parcelles	Nombre de tiges moyen[1]		Surface terrière moyenne[2]		Diamètre moyen		Volume moyen[3]	
		V[4]	M[5]	V	M	V	M	V	M
0 à 10	2	585,00	20	32,66	0,36	27,00	14,9	275,51	1,80
11 à 25	13	468,46	10	25,82	0,44	27,11	14,91	213,73	3,10
26 à 50	6	346,67	33,33	22,57	3,75	29,33	25,3	193,91	39,05
51 et plus	3	466,67	120	15,35	2,80	20,97	15,9	106,85	16,81

1 À l'hectare
2 Mètres carrés à l'hectare
3 Mètres cubes à l'hectare
4 V = arbres vivants
5 M = arbres morts

TABLEAU 8
CARACTÉRISTIQUES DENDROMÉTRIQUES DE L'ÉRABLIÈRE À BOULEAU JAUNE TYPIQUE SELON LA CLASSE DE DÉPÉRISSEMENT

Classe de dépérissement (p. cent)	Nombre de parcelles	Nombre de tiges moyen[1]		Surface terrière moyenne[2]		Diamètre moyen		Volume moyen[3]	
		V[4]	M[5]	V	M	V	M	V	M
0 à 10	14	472,14	4,29	24,64	0,131	26,21	5,71	201,30	0,873
11 à 25	15	575,33	22,0	27,33	0,805	25,05	13,79	218,51	5,94
26 à 50	9	416,66	31,11	25,54	2,24	28,93	28,48	213,80	20,69
51 et plus	6	435,00	70,0	19,67	2,12	24,13	20,31	150,45	13,62

1 À l'hectare
2 Mètres carrés à l'hectare
3 Mètres cubes à l'hectare
4 V = arbres vivants
5 M = arbres morts

TABLEAU 9
CARACTÉRISTIQUES DENDROMÉTRIQUES DE L'ÉRABLIÈRE À BOULEAU JAUNE ET FRÊNE NOIR SELON LA CLASSE DE DÉPÉRISSEMENT

Classe de dépérissement (p. cent)	Nombre de parcelles	Nombre de tiges moyen[1]		Surface terrière moyenne[2]		Diamètre moyen		Volume moyen[3]	
		V[4]	M[5]	V	M	V	M	V	M
11 à 25	2	470,00	5,0	31,73	0,15	29,90	9,75	274,26	0,94
26 à 50	2	530,00	20,0	17,42	0,42	20,2	8,2	114,79	2,39
51 et plus	4	257,50	90,0	12,05	5,96	23,5	30,52	94,53	51,83

1 À l'hectare
2 Mètres carrés à l'hectare
3 Mètres cubes à l'hectare
4 V = arbres vivants
5 M = arbres morts

TABLEAU 10
CARACTÉRISTIQUES DENDROMÉTRIQUES DE L'ÉRABLIÈRE À BOULEAU JAUNE ET TILLEUL D'AMÉRIQUE SELON LA CLASSE DE DÉPÉRISSEMENT

Classe de dépérissement (p. cent)	Nombre de parcelles	Nombre de tiges moyen[1]		Surface terrière moyenne[2]		Diamètre moyen		Volume moyen[3]	
		V[4]	M[5]	V	M	V	M	V	M
0 à 10	6	568,33	10,0	26,44	0,25	24,58	11,83	211,17	1,47
11 à 25	3	540,00	13,33	28,36	0,32	26,80	10,50	229,65	1,94
26 à 50	2	410,00	5,0	23,62	0,05	27,25	5,45	197,71	0,16

1 À l'hectare
2 Mètres carrés à l'hectare
3 Mètres cubes à l'hectare
4 V = arbres vivants
5 M = arbres morts

TABLEAU 11
CARACTÉRISTIQUES DENDROMÉTRIQUES DE L'ÉRABLIÈRE À TILLEUL TYPIQUE
SELON LA CLASSE DE DÉPÉRISSEMENT

Classe de dépérissement (p. cent)	Nombre de parcelles	Nombre de tiges moyen[1]		Surface terrière moyenne[2]		Diamètre moyen		Volume moyen[3]	
		V[4]	M[5]	V	M	V	M	V	M
0 à 10	3	746,66	33,33	25,23	0,49	24,70	9,93	198,40	2,38
11 à 25	9	421,11	24,44	28,47	1,06	29,92	17,90	250,30	8,70
26 à 50	6	516,66	15,00	24,81	1,00	26,02	24,57	202,48	9,01

1 À l'hectare
2 Mètres carrés à l'hectare
3 Mètres cubes à l'hectare
4 V = arbres vivants
5 M = arbres morts

TABLEAU 12
CARACTÉRISTIQUES DENDROMÉTRIQUES DE L'ÉRABLIÈRE À TILLEUL TYPIQUE ET ORME D'AMÉRIQUE SELON LA CLASSE DE DÉPÉRISSEMENT

Classe de dépérissement (p. cent)	Nombre de parcelles	Nombre de tiges moyen[1]		Surface terrière moyenne[2]		Diamètre moyen		Volume moyen[3]	
		V[4]	M[5]	V	M	V	M	V	M
0 à 10	6	650,00	11,66	25,07	0,30	23,23	12,58	191,85	2,01
11 à 25	8	472,50	6,25	29,03	0,77	29,68	16,53	249,37	8,41
26 à 50	1	290,00	30,00	17,85	3,226	28,00	37,00	154,09	29,40
51 et plus	2	415,00	70,00	21,68	1,48	25,85	16,25	176,95	8,43

1 À l'hectare
2 Mètres carrés à l'hectare
3 Mètres cubes à l'hectare
4 V = arbres vivants
5 M = arbres morts

Les principaux résultats de cette étude permettent de conclure que le dépérissement est présent de Rivière-du-Loup jusqu'en Gatineau, sur la rive nord comme sur la rive sud du Saint-Laurent. On le retrouve, entre autres, au Mont-Tremblant, à Shawinigan, à Duchesnay et à Lotbinière. Les érablières qui sont les moins touchées sont situées dans la plaine de Montréal, dans la plaine de l'Outaouais et près du lac Champlain.

Tout comme dans le secteur des Appalaches, les érablières les plus affectées sont situées sur les sommets secs ou dans les milieux humides. Nous avons observé également que les érablières les plus ouvertes ou les plus éclaircies étaient plus vulnérables au dépérissement.

Nos informations nous indiquent aussi que la rive nord du Saint-Laurent n'a pas subi d'épidémies de livrée des forêts et que le dégel de 1981 n'y a pas été aussi intense que sur la rive sud.

SYNTHÈSE ET CONCLUSION

L'étude de l'influence des diverses variables écologiques sur l'état et sur l'évolution du dépérissement nous a amené à analyser une quantité énorme de données mesurées et observées. Il y a d'ailleurs des aspects qui ne sont pas encore totalement analysés. Nous croyons cependant que l'état d'avancement de nos analyses permet de faire une synthèse assez complète des éléments les plus importants et de tirer des conclusions utiles.

L'état actuel de nos analyses nous permet d'énoncer les affirmations suivantes:

1- Les peuplements les plus affectés sont situés soit sur le sommet des montagnes et les sols minces et secs, soit dans les milieux humides. Les peuplements situés sur les sols plus riches et plus profonds que l'on trouve à mi-pente, dans le bas des pentes et dans la plaine du Saint-Laurent, sont affectés par le phénomène, mais d'une façon plus modérée.

2- Nos résultats démontrent que le phénomène du dépérissement évolue de façon constante. Nous pouvons même évaluer l'espérance de vie des différents types d'érablières. Quelques-uns de ces types n'ont plus que quelques années avant que tous les arbres qui les composent soient affectés.

3- Au sujet du degré de participation de certaines variables écologiques dans l'évolution du dépérissement, nous sommes en mesure d'affirmer que l'entaillage et les diverses méthodes d'entaillage, les épidémies de livrée des forêts, le dégel de 1981, les sécheresses et la coupe des essences compagnes ne peuvent être retenus comme des variables qui causent le dépérissement puisque le phénomène est présent dans des érablières non entaillées, non perturbées par les coupes et dans des régions où il n'y a pas eu d'épidémies d'insectes ou de perturbations climatiques. On ne peut également attribuer le problème au champignon armillaire (*Armillaria mellea* (Vahl ex Fr.) Kummer) puisque celui-ci n'entre en action que lorsque les arbres sont fortement dépéris.

4- Nous sommes en mesure d'affirmer cependant que les épidémies d'insectes, le dégel de 1981 et les sécheresses de 1982 et 1983 ont contribué à accélérer le dépérissement. En effet, nous retrouvons la présence de ces trois variables en même temps dans la région du Québec où l'évolution du phénomène a été la plus rapide.

5- À l'analyse de nos données, il nous est maintenant possible d'imputer à la pollution atmosphérique la cause principale du dépérissement. Plusieurs éléments nous permettent d'en arriver à cette conclusion. D'abord le phénomène du dépérissement apparaît et se développe de l'extérieur vers l'intérieur de la cime; ensuite les peuplements trop ouverts sont plus affectés par le dépérissement, ce qui rend les arbres plus vulnérables à la pollution environnante. Également, l'analyse de toutes les variables mesurées et observées n'a pas permis de dégager un ou des facteurs, autres que la pollution, pouvant être responsables du déclenchement du phénomène. Enfin, notre étude comparative des analyses de sol démontre des perturbations importantes dans les sols du Québec. L'état de nos recherches ne nous permet pas d'identifier tous les éléments pollueurs. Cependant, les précipitations acides nous apparaissent jouer un rôle important à cause des baisses de pH du sol et de la diminution des quantités d'éléments nutritifs disponibles.

Maintenant que nous avons identifié des causes principales et des causes accessoires au dépérissement, pouvons-nous suggérer des solutions?

La solution définitive du problème viendra, à notre avis, lorsque la pollution aura diminué à un niveau tolérable par l'écosystème. D'ici ce temps, il nous faudra vivre avec le problème et appliquer des cataplasmes.

Les mesures que nous suggérons actuellement relèvent de l'aménagement. Elles peuvent s'énoncer ainsi:

- éviter de faire des éclaircies et des coupes dans les érablières;

- dans les cas de nouvelles installations, aménager les érablières qui ont une espérance de vie plus longue, c'est-à-dire les érablières qui croissent sur les sols profonds, bien pourvus en éléments nutritifs et qui ont un régime d'humidité mésique;

- éviter d'entailler les érables trop petits ou de surentailler, afin de ne pas causer de stress supplémentaire à l'arbre;

- enfin, nous espérons que les expériences sur le chaulage que nous avons entreprises en collaboration avec le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation auront des résultats positifs; nous entendons faire également des essais de fertilisation. Si ces essais sont concluants, il sera avantageux de les appliquer dans les érablières qui ont la meilleure espérance de vie.

BIBLIOGRAPHIE

CARRIER, J.L., J.-Ls BLOUIN, J.-Ls BROWN, Z. MAJCEN et G. GAGNON, 1976. *Description et cartographie écologique de la station forestière de Lotbinière.* Serv. de la rech., Dir. gén. des forêts, min. des Terres et Forêts du Québec. Rapport int. no 175, 161 p.

GAGNON, G. et G. MARCOTTE, 1980. *Description des types écologiques et de leur productivité dans la section forestière laurentienne de Rowe (L-4a).* Serv. de la rech. forest, min. de l'Énergie et des Ressources. Mém. no 61, 455 p. + cartes et tableaux.

GAGNON, G., L. ROBITAILLE, G. ROY et C. GRAVEL, 1985. *Le dépérissement des érablières: comportement de certaines variables écologiques.* La Terre de Chez Nous (dossier) 3(5), 28 mars 1985.

GAGNON, G. et C. GRAVEL, 1986. *Étude comparative de propriétés chimiques de certains sols forestiers échantillonnés à plus de douze ans d'intervalle.* En préparation.

MARCOTTE, G. et M.M. GRANDTNER, 1974. *Étude écologique de la végétation forestière du mont Mégantic.* Serv. rech., Dir. gén. des for., min. des Terres et Forêts, Québec. Mém. no 19, 156 p.

ROBITAILLE, L. et G. GAGNON, 1974. *Contribution du Service de la recherche au groupe de projets de recherche et de développement en acériculture. I. Inventaire biophysique et dendrométrique.* Service de la recherche, min. des Terres et Forêts. Rapport int. no 135, 38 p.

ULRICH, B., 1983. *A concept of forest ecosystem stability and of acid deposition as driving force for destabilization.* In. Proceedings of a workshop held at Göttingen, West Germany, May 16-18, 1982: 1-29.

Relation entre les sources d'émission des polluants précurseurs et les dépôts acides sur les milieux récepteurs

Conférence présentée le
8 mai 1986 lors de la
journée d'information
sur l'acériculture

Préparée par

Claude Lelièvre, M. Sc. en météorologie
Ministère de l'Environnement
du Québec
Sainte-Foy

RELATION ENTRE LES SOURCES D'ÉMISSION DES POLLUANTS PRÉCURSEURS ET LES DÉPÔTS ACIDES SUR LES MILIEUX RÉCEPTEURS

CLAUDE LELIÈVRE
MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT

RÉSUMÉ

Les sources d'émission des polluants précurseurs aux précipitations acides sont d'abord examinées. La majeure partie du SO_2 est émise par les centrales thermiques américaines et par les usines de métaux non-ferreux canadiennes. Les émissions d'oxydes d'azote proviennent principalement des véhicules automobiles. Les dépôts acides secs sont estimés à partir de la mesure des concentrations atmosphériques des polluants. Le réseau d'échantillonnage des précipitations du Québec comprend 46 stations qui recueillent les dépôts acides contenus dans la précipitation.

Les recherches effectuées dans le domaine de la météorologie des précipitations acides peuvent nous éclairer sur les points suivants: taux de transformation chimique, mécanismes de dépôt et transport atmosphérique. Ce sont les modèles du TGDPA qui permettent d'intégrer une partie des connaissances dans le domaine des précipitations acides et d'en faire un tout cohérent qui permet d'établir une relation entre les émissions et les dépôts acides mesurés. Le modèle québécois est décrit. Les résultats de l'étude de sensibilité du modèle à un changement dans les valeurs des paramètres sont présentés.

INTRODUCTION

Au cours des cinq dernières années, de nombreux réseaux de mesure des dépôts acides ont été mis en place. Ceux-ci nous fournissent maintenant des données fiables qui nous permettent de déterminer avec plus de précision les régions qui reçoivent un excès d'acidité. Les inventaires des émissions des polluants précurseurs des précipitations acides s'améliorent constamment. Les divers gouvernements suivent maintenant de près l'évolution de leurs émissions. Parallèlement à ces activités, les recherches effectuées dans le domaine des précipitations acides nous permettent de mieux comprendre le comportement des divers facteurs qui contribuent aux précipitations acides.

Quelle est la provenance des divers polluants qui tombent sur un milieu récepteur spécifique? C'est dans le but de répondre à cette question qu'ont été élaborés de nombreux modèles de transport à grandes distances des polluants atmosphériques (TGDPA). Ceux-ci évoluent rapidement en quantité et en qualité. Parmi les principaux usages qui sont faits des modèles, mentionnons l'allocation des contributions de chacune des sources à la pollution acide et l'élaboration de scénarios de réduction des émissions.

1. SOURCES D'ÉMISSION

Les polluants d'intérêt par rapport aux précipitations acides sont de deux types: les polluants précurseurs et les polluants secondaires. Les polluants précurseurs sont des polluants non acides qui s'acidifient dans l'atmosphère. Les Les polluants secondaires proviennent de réactions chimiques ou photochimiques entre les divers composés atmosphériques. Les polluants qui ont des propriétés acidifiantes, oxydantes ou neutralisantes sont étudiés avec attention. Les relevés d'émission ne sont fait que pour les polluants précurseurs. Les techniques utilisées pour réaliser ces relevés varient selon la nature du polluant et des sources d'émission. Lorsque des mesures à l'émission existent, celles-ci sont utilisées. Plus souvent, des bilans massiques sont réalisés à partir des combustibles, matières premières ou autres matériaux utilisés. Il faut alors tenir compte des équipements anti-pollution qui sont installés. Pour les émissions dues aux véhicules automobiles, on peut utiliser la consommation d'essence et des données sur le parc automobile: âge et type de véhicules.

La précision des estimés d'émission varie selon la nature du polluant et les dimensions de la région pour laquelle les estimés sont faits. Par exemple, on estime que les données d'émissions annuelles anthropiques de SO_2 et de NO_x sont précises en dedans d'environ 10 à 20% à l'échelle nord-américaine. Par contre, les données d'émission de certains hydrocarbures ne sont précises qu'en dedans d'un facteur deux. De plus, les émissions naturelles sont généralement difficiles à évaluer. Certaines sont épisodiques et imprévisibles telles que les volcans et les feux de forêts. D'autres sont diffuses et de faible intensité, mais elles couvrent de grandes étendues; mentionnons à titre d'exemple l'émission de sels et de sulfate par la surface des océans.

Certaines émissions ont des cycles diurnes ou saisonniers très marqués. Par exemple, les émissions dues aux véhicules automobiles sont maximales aux heures de pointe du matin et de

l'après-midi et minimales pendant la nuit. Les émissions dues au chauffage domestique sont maximales en hiver et pratiquement nulles en été. L'étude des émissions est donc complexe.

Les principaux polluants précurseurs des précipitations acides sont le SO_2 et les NO_x. Nous présentons à la figure 1, les émissions de SO_2 en 1980 à l'échelle de l'Amérique du Nord. La surface à l'intérieur des cercles représente l'intensité des émissions. Les États-Unis contribuent 83% des émissions anthropiques de SO_2 tandis que la part du Canada s'établit à 17% dont 4% du Québec. La majeure partie de la contribution américaine provient des centrales thermiques, tandis qu'au Canada, ce sont les usines de métaux non-ferreux telles que l'Inco et Mines Noranda, qui sont les principaux émetteurs.

Dans le cas des oxydes d'azote, comme on peut le constater à la figure 2, ce sont surtout les véhicules automobiles qui constituent la principale source. Les oxydes d'azote sont produits lors de la combustion à haute température. Les catalyseurs, dont certains véhicules automobiles sont équipés, permettent de limiter ces émissions. Le ralentissement du développement de l'énergie nucléaire aux États-Unis cause une grande dépendance envers les combustibles fossiles. Ceci a pour conséquence de maintenir à un niveau élevé les émissions par les centrales thermiques, principalement celles alimentées au charbon.

Les émissions des hydrocarbures doivent être également évaluées si l'on désire comprendre l'évolution chimique des polluants reliés aux précipitations acides.

2. MESURE DES DÉPÔTS ACIDES

Les dépôts acides sont de deux types: le dépôt sec et le dépôt humide. Le dépôt sec se produit en tout temps. Les polluants sont transportés par transfert turbulent à travers la couche limite. Ils entrent en contact avec diverses surfaces au niveau du sol: étendues d'eau, végétation, roc, etc. Dépendant de l'efficacité de captage des polluants par la surface et de son affinité pour ceux-ci, les polluants seront plus ou moins bien captés. En général, il a été observé que le SO_2, qui est un gaz assez réactif, est mieux capté au sol que ne l'est le SO_4 qui se trouve sous la forme de fines particules d'un diamètre de l'ordre du micromètre. En effet, ces fines particules ne se déposent que lentement et elles sont facilement réentraînées dans l'atmosphère même par vent léger.

Il est difficile de mesurer directement les dépôts secs car ceux-ci dépendent fortement de la rugosité du terrain, de la nature du sol et de la présence de surfaces humides. En général, on se contente de mesurer la concentration atmosphérique

des polluants à l'aide d'un échantillonneur à faible débit d'air dans lequel l'air est aspiré à travers une série de filtres. Le premier filtre recueille les particules. Le deuxième filtre est imprégné d'un produit qui capte le SO_2. Le troisième filtre recueille les NO_x. Connaissant le volume d'air aspiré et le poids des polluants recueillis sur le filtre, on peut alors calculer la concentration journalière moyenne des polluants.

Les dépôts humides sont plus faciles à mesurer. Les appareils les moins dispendieux consistent en un récipient exposé à l'air pendant une période prédéterminée (une journée à une semaine). Ils recueillent alors tout ce qui tombe de façon sèche ou humide. Il est difficile d'interpréter les résultats provenant de ce type de collecteur dont les échantillons sont d'ailleurs souvent contaminés par des sources locales.

Le collecteur automatique de précipitation est composé de deux récipients, d'un chapeau mobile qui couvre l'un de ces récipients et d'un détecteur de précipitation. Lorsque le temps est sec, le premier récipient est exposé à l'air et recueille les dépôts secs qui ne sont pas analysés à cause de l'imprécision de cette mesure. Lorsque le détecteur décèle la présence de précipitation, il actionne un moteur qui déplace le chapeau d'un récipient à l'autre. Le deuxième récipient est alors exposé à l'air et ne recueille que les dépôts humides. Lorsque le détecteur observe la fin de la précipitation, il actionne à nouveau le moteur qui redéplace le chapeau.

Le réseau d'échantillonnage des précipitations du Québec (REPQ) comprend 46 stations équipées d'un échantillonneur automatique. Les stations sont d'abord concentrées autour de Rouyn-Noranda qui renferme la principale source québécoise de SO_2: la fonderie de cuivre de Mines Noranda. La majeure partie des citoyens québécois vivent le long de la vallée du St-Laurent. Puisque la contribution majeure aux émissions d'oxydes d'azote provient des véhicules automobiles, il est donc important d'avoir une grande densité de mesure le long de la vallée du St-Laurent. Les autres stations sont dispersées à travers le Québec. Les principaux critères utilisés pour déterminer l'emplacement d'une station sont: disponibilité de courant électrique, absence de sources locales, sol gazonné ou non poussiéreux et proximité d'une station climatologique.

L'analyse des dépôts humides sur le Québec révèle une forte variabilité inter-saisonnière et inter-annuelle pour le SO_4. De plus, l'importance relative des oxydes de soufre par rapport aux oxydes d'azote semble être maximale en été et minimale en hiver. Il semble que ce soit dû en partie au taux de transformation chimique du SO_2 en SO_4 qui diminue fortement de l'été à l'hiver.

L'estimation des dépôts acides sur les milieux récepteurs devient de plus en plus fiable à mesure que les données s'accumulent. Une plus grande incertitude plane sur les dépôts secs pour lesquels il n'existe pas encore d'appareil de mesure précis.

3. RECHERCHES SUR LA MÉTÉOROLOGIE DES PRÉCIPITATIONS ACIDES

Les recherches sur la météorologie des précipitations acides portent principalement sur les sujets suivants: transformation chimique des polluants atmosphériques, mécanismes de dépôt sec, mécanismes de dépôt humide, transport atmosphérique et microphysique des nuages.

3.1 Transformation chimique des polluants atmosphériques

Les recherches qui sont effectuées dans le domaine de la chimie de l'atmosphère peuvent être réalisées en laboratoire, sur le terrain ou à l'aide de modèles théoriques. Lorsque les expériences sont réalisées en laboratoire, les conditions suivantes sont soigneusement contrôlées: température, pression, concentration des polluants, radiation et humidité. Les taux de réactions chimiques peuvent alors être calculés en fonction de la variation temporelle des concentrations des polluants. Les résultats de ces études doivent être transposés avec soin dans l'atmosphère qui constitue un milieu beaucoup plus complexe.

Les études sur le terrain sont relativement rares. La raison en est simple: ce type d'expérience est très coûteux et il nécessite généralement l'utilisation d'un avion instrumenté. Par exemple, quelques campagnes de mesure ont été réalisées en Ontario autour de l'INCO à Sudbury. Les oxydes de soufre étaient mesurés au sol par une série d'appareils disposés selon deux arcs de cercle et orientés le long de l'axe des vents observés lors de ces expériences. Des mesures de la concentration totale des polluants à l'intérieur du panache ont également été réalisées à différentes distances de la source. Ce type d'expérience permet de constater l'évolution du SO_2 et du SO_4 le long du panache. Cependant, il est souvent difficile d'appliquer les résultats de ce type d'expérience. L'incertitude sur le taux de transformation chimique calculé est assez élevée. La valeur trouvée n'est valide que pour les conditions dans lesquelles l'expérience a été réalisée. On sait par exemple que le taux de transformation chimique en atmosphère sèche dépend du degré d'irradiation solaire. Par exemple, si l'expérience est menée pendant une journée ensoleillée d'été, il est alors difficile d'extrapoler le taux de transformation chimique aux conditions nocturnes ou hivernales.

Les résultats tirés des expériences peuvent servir à établir les valeurs des paramètres qui seront utilisés dans des simulations numériques sur ordinateur à l'aide de modèles théoriques. Ces modèles, dont la complexité est variable, peuvent permettre une étude poussée du comportement des différents produits qui contribuent à l'acidification des précipitations ou à la formation d'oxydants.

3.2 Mécanisme de dépôt sec

Lorsqu'on étudie les mécanismes de dépôt des polluants, il faut d'abord considérer la phase dans laquelle se trouve le polluant. Le SO_2 se trouve à l'état gazeux dans l'atmosphère, tandis que le SO_4 est associé aux fines particules d'un diamètre de l'ordre du micromètre. L'absorption du SO_2 au sol va dépendre principalement de l'affinité des surfaces et des plantes pour ce gaz qui est assez réactif. À des concentrations horaires supérieures à 0,5 parties par million (ppm), ce gaz peut causer des dommages directs à la végétation. Cependant, les concentrations rencontrées en air ambiant, loin des sources, sont généralement beaucoup trop faibles pour causer des dommages directs. Le SO_2 déposé au sol ou capté par la végétation peut facilement s'oxyder en SO_4 si l'humidité est suffisante. Le dépôt sec du SO_2 contribue donc au phénomène d'acidification à long terme.

Les particules d'un diamètre d'un micromètre se déposent lentement au sol. À cause de leurs petites dimensions, la force de viscosité, due à la friction sur les molécules atmosphériques, qui s'exerce sur elles est relativement grande, de sorte que leur vitesse de chute gravitationnelle est petite. Elles ne sont pas assez petites pour être fortement ionisées: les forces d'attraction électriques ne joueront pas pour attacher ces particules au sol. De plus, ces petites particules sont facilement réentraînées dans l'atmosphère même par vent léger.

Pour caractériser le dépôt sec, on utilise généralement la vitesse de dépôt sec qui établit un rapport entre le coefficient de diffusivité turbulente et la concentration atmosphérique du polluant. S'il n'y a aucun dépôt sec, cette vitesse est nulle et le polluant est parfaitement réfléchi par le sol vers l'atmosphère. Si la vitesse de dépôt est très grande, à peu près tout le polluant est absorbé au sol. La plupart des études expérimentales ont démontré que la vitesse de dépôt sec du SO_2 est de 3 à 10 fois supérieure à celle du SO_4.

3.3 Mécanisme de dépôt humide

Il existe deux principaux mécanismes de dépôt humide: le "rain-out" et le lessivage ("wash-out"). Dans le processus de "rain-out", les polluants participent au processus de formation de la précipitation. Les particules sur lesquelles se trouvent les sulfates peuvent parfois agir comme noyaux de condensation, favorisant ainsi la formation de gouttelettes des nuages. Lorsque les gouttelettes sont formées, du SO_2 peut être absorbé à l'intérieur de celles-ci. Si la concentration de peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) est suffisamment élevée, le SO_2 va se transformer rapidement en SO_4. Ce mécanisme agit le plus efficacement avec les nuages de type cumulus sous des conditions de temps instables. En effet, les nuages cumuliformes aspirent une quantité considérable d'air près du sol et peuvent donc incorporer une grande quantité de polluants.

Le deuxième mécanisme est le lessivage des polluants par la précipitation. Dans ce cas-ci, les nuages se forment au-dessus de la couche limite qui confine les polluants dans l'atmosphère près du sol. La précipitation accumule les polluants lorsqu'elle tombe à travers la couche limite. Pour incorporer le SO_2 à l'intérieur d'une goutte de pluie, il faut que le SO_2 diffuse à travers l'interface air-liquide de la goutte. Ce processus n'est pas instantanné et il dépend de la concentration de SO_2 à l'intérieur de la goutte. Plus la concentration interne en SO_2 est grande, moins il est possible d'y transférer du SO_2 supplémentaire. Dans le cas des particules, on observe qu'elles sont facilement incorporées à l'intérieur des gouttes de pluie, sans être limitées par une concentration maximale comme dans le cas du SO_2.

Il reste beaucoup de recherches à réaliser dans le domaine des dépôts acides causés par la précipitation sous forme de neige. Le processus est complexe car dans le cas des nuages produisant de la neige, il faut considérer la période de croissance des gouttelettes surgelées qui accumulent facilement les polluants. Lorsque les cristaux de glace sont formés, ils semblent accumuler les polluants moins rapidement que les gouttes de pluie, à la fois à l'intérieur du nuage et lors du lessivage subséquent des polluants dans la couche limite.

3.4 Transport atmosphérique

La couche limite est la couche atmosphérique le plus près du sol dans laquelle les conditions de stabilité sont à peu près neutres. Les polluants se dispersent rapidement à

l'intérieur de cette couche que l'on appelle également couche de mélange. Le sommet de cette couche est causé par une inversion de température et se situe à une hauteur moyenne d'un kilomètre. La hauteur de la couche limite dépend fortement de l'énergie solaire disponible. Cette dernière est maximale vers midi et en été. Elle est minimale durant la nuit et en hiver. Lors de journées fortement ensoleillées en été, la couche de mélange peut atteindre la tropopause (environ 10 kilomètres). Plus on s'éloigne des sources, plus il devient probable que la pollution se soit dispersée verticalement dans l'atmosphère.

Dans la couche limite, le vent varie rapidement en vitesse et en direction dans les cent premiers mètres au-dessus du sol et plus lentement de 100 mètres au sommet de la couche limite. C'est dans cette dernière couche que s'effectue la majeure partie du transport à grandes distances des polluants selon le vent qui se trouve à cette altitude.

La partie de la pollution qui dépasse la hauteur de la couche limite sera dispersée plus rapidement et possiblement dans une direction différente de celle qui est transportée dans la couche limite.

4. MODÈLE DU TGDPA

4.1 Modèles en général

Au cours des dernières années, il est apparu une série de modèles du TGDPA. Certains de ces modèles ne permettent d'établir que des dépôts acides moyens annuels ou saisonniers. D'autres permettent de calculer les dépôts acides à toutes les heures ou à tous les jours. Certains modèles utilisent une seule équation de transformation chimique, tandis que d'autres en possèdent des centaines. Certains modèles sont assez simples pour pouvoir être programmés sur un micro-ordinateur tandis que d'autres nécessitent l'utilisation des super-ordinateurs tels que le CRAY.

Comme on peut le constater, il existe maintenant une grande variété de modèles. Les modèles les plus complexes sont également très coûteux à développer et à opérer. Il est également difficile de caler adéquatement tous les paramètres utilisés. Ils servent sur de courtes périodes de temps et permettent parfois d'améliorer les modèles plus simples. Ils constituent un outil de recherche indispensable.

Les modèles plus simples produisent des résultats assez fiables sur une base annuelle et saisonnière. À cause de

leur faible coût, ils peuvent être utilisés pour réaliser des scénarios de variation des diverses émissions.

Les modèles utilisent les données d'émission des divers polluants primaires, simulent leur acidification ainsi que leur transport vers les milieux récepteurs. Les données provenant des réseaux d'échantillonnage des précipitations permettent de vérifier la validité des simulations produites.

4.2 Modèle québécois

Le ministère de l'Environnement du Québec et l'INRS-Eau ont complété un modèle du TGDPA (Lelièvre et al., 1985). Ce modèle est statistique dans le sens qu'il utilise des moyennes saisonnières et annuelles calculées à partir des données météorologiques horaires. Il est également lagrangien parce qu'il calcule des trajectoires moyennes entre les sources et les récepteurs. Présentement, seuls les oxydes de soufre sont modélisés.

La figure 3 illustre le phénomène des précipitations acides tel que modélisé. La pollution est émise par des sources ponctuelles telles que les hautes cheminées industrielles ou par des sources diffuses telles que les agglomérations urbaines. Les données d'émissions utilisées dans le modèle sont celles de 1980, qui sont disponibles sur une grille de 127 Km de longueur de maille et pour quatre classes de hauteur d'émissions (0m, 0 à 200m, 200 à 500m, plus de 500m). Le vent d'advection est calculé à 92,5 kPa (approximativement 1000 m) et est utilisé pour calculer les trajectoires entre les sources et les récepteurs. Dans un modèle lagrangien, les équations à résoudre sont simplifiées, car il n'y a pas d'advection moyenne horizontale. Nous supposons que les polluants restent totalement confinés dans la couche limite, sous le sommet de la couche limite qui réfléchit parfaitement les polluants.

Le modèle utilise le concept de vitesse de dépôt pour calculer le dépôt sec. Le processus de "rain-out" a été négligé car on suppose que les nuages se forment au-dessus de la couche limite. Le taux d'enlèvement des polluants atmosphériques par la précipitation est proportionnel à leur concentration. Le modèle tient compte de la hauteur d'émission des polluants en utilisant un coefficient de diffusivité verticale. Le SO_2 se transforme en SO_4 à un taux constant. Cette hypothèse permet l'addition linéaire des contributions des diverses sources, ce qui est essentiel à tous les modèles non-eulériens. Le modèle tient compte de l'alternance entre les périodes sèches et humides.

La formulation mathématique des hypothèses formulées précédemment conduit à un système de quatre équations différentielles couplées, soumises à des conditions initiales et des conditions aux frontières. Les statistiques sur les trajectoires nous permettent de calculer la fréquence relative avec laquelle les polluants, qui sont émis par une source, atteignent une région réceptrice donnée.

4.3 Étude de sensibilité

La sensibilité du modèle à un changement dans les valeurs des paramètres a été étudiée. Le tableau 1 reproduit les principaux résultats de l'étude de sensibilité par rapport au dépôt humide de SO_4. V_2 représente un coefficient normalisé de la variation totale des dépôts par rapport à la gamme des valeurs prises par les paramètres. Une haute valeur absolue de V_2 signifie que le modèle est très sensible à une variation du paramètre.

Le taux de transformation chimique (k) affecte fortement le dépôt du SO_4 près de la source. Toutefois, cet effet décroît graduellement dans le temps à cause de la proportion grandissante de SO_2 transformée en SO_4. L'influence de la hauteur de mélange (a) est négligeable près de la source et atteint son effet maximal loin de la source où le polluant tend à être uniformément mélangé.

Le modèle prédit une décroissance dans le dépôt humide de SO_4 avec une augmentation de la vitesse de dépôt sec (v_g). L'influence de v_g (SO_2) est plus importante que celle de v_g (SO_4) près de la source parce que la concentration initiale du SO_2 est plus grande que celle du SO_4. Lorsque la majorité du SO_2 est convertie en SO_4, l'influence de v_g (SO_4) devient alors plus grande que celle de v_g (SO_2).

La variation du taux de lessivage (L_2) n'a aucun effet sur le dépôt humide de SO_4 parce que les processus de dépôt sec et de dépôt humide sont considérés indépendants dans le but d'obtenir une solution analytique. L'effet du taux de lessivage (L4) du SO_4 est grand près de la source, mais décroît rapidement avec le temps suite à un mécanisme compensatoire. Plus de lessivage près de la source amène une plus faible concentration loin de la source, causant ainsi une décroissance relative dans le dépôt humide.

Le transport à grandes distances du SO_4 est augmenté par environ 18% lorsque la hauteur effective (h) d'émission est augmentée de 10 à 500 m. Près de la source, la variation de la hauteur d'émission est moins importante.

4.4 Calibration du modèle

Le ministère de l'Environnement du Québec exploite un réseau d'échantillonnage des précipitations qui compte 46 stations. Les données météorologiques en altitude sont disponibles pour trois saisons de 1982: hiver, printemps et été. Ces données ont été utilisées dans le but de caler les paramètres du modèle sur une base saisonnière. Les principaux paramètres qui contrôlent le dépôt humide sont les durées des cycles secs et humides. Ces durées sont calculées à l'aide d'un processus basé sur une chaîne de Markov (modèle autorégressif du premier ordre) calculée à partir des données de précipitations horaires.

Dans un processus markovien, il est supposé que l'état actuel (sec ou humide) dépend de l'état de l'heure précédente. Une heure est étiquetée humide si la quantité de précipitation excède un seuil préétabli, normalement 0,25 mm. Mais en réalité, la précipitation n'a probablement duré qu'une partie de l'heure. On peut facilement démontrer qu'en moyenne, une séquence humide calculée de (n) heures n'a effectivement duré que (n-1) heures. Dans le cas des épisodes humides, la durée moyenne est surestimée par plus de 20%. C'est pourquoi le modèle surestimait les dépôts humides près des sources. Une méthode numérique a été développée afin d'enlever ce biais systématique dans les données horaires. Cette méthode produit un meilleur ajustement avec les données de précipitation qu'il était auparavant possible.

La variabilité spatiale est beaucoup plus grande dans les observations que dans les valeurs prévues par le modèle. C'est principalement dû à la grande variabilité des événements de précipitation. Les données mesurées de précipitation à chacune des stations d'échantillonnage sont utilisées pour calculer les dépôts massiques du SO_4, à partir des concentrations de SO_4 mesurées dans la précipitation. Par contre, le modèle prédit les dépôts de sulfate directement sans tenir compte de la précipitation locale: le patron des dépôts devient alors très lisse. Une méthode sera développée afin que le modèle prenne en considération les quantités mesurées de précipitation. Ceci permettra une comparaison plus directe entre les observations et les prévisions du modèle.

4.5 Résultats

Le modèle est présentement dans sa phase de calibration. C'est pourquoi tous les résultats produits présentement par le modèle doivent être considérés comme préliminaires. La

version finale du modèle analytique devrait être complétée à la fin de 1986.

Parmi les principaux usages qui seront faits du modèle, mentionnons l'allocation des contributions de chacune des sources à la pollution et l'élaboration de scénarios de réduction d'émission.

RÉFÉRENCES

1. C. Lelièvre, M. Lachance and J.-P. Fortin, "Modèle québécois de transport à grande distance des polluants atmosphériques", Environnement Québec, PA-16, 1985, 213 p.

Tableau 1 Variation relative (V_2) du dépôt humide (D) de SO_4 à l'intérieur de la gamme (P) de variation des paramètres selon la formule

$$V_2 = 100\% \ (Dmax/Dmin) - 1) \ / \ (Pmax/Pmin) - 1)$$

Une valeur positive indique une augmentation du dépôt avec une augmentation de la valeur du paramètre.

Paramètre	Gamme des valeurs	Temps depuis l'émission		
		1 h	24 h	96 h
a	400 à 1600 m	0,02%	12,1%	82%
h	10 à 500 m	0,15%	0,35%	0,36%
L_2	(1 à 10) x $10^{-5}s^{-1}$	0%	0%	0%
L_4	(0,5 à 3) X $10^{-4}s^{-1}$	41,5%	-1,9%	+3,7%
k_1	0,2 à 5% h^{-1}	97,6%	59,8%	27,5%
v_g (SO_2)	0,0005 à 0,0048 ms^{-1}	- 0,3%	-5,5%	-17,5%
v_g (SO_4)	0,0005 à 0,0048 ms^{-1}	- 0,2%	- 2,3%	-14,0%

FIGURE 1

Contribution respective du Québec, du Canada et des États-Unis aux émissions totales et sectorielles de SO_2 (en million de tonnes métriques)

Année de référence: 1980

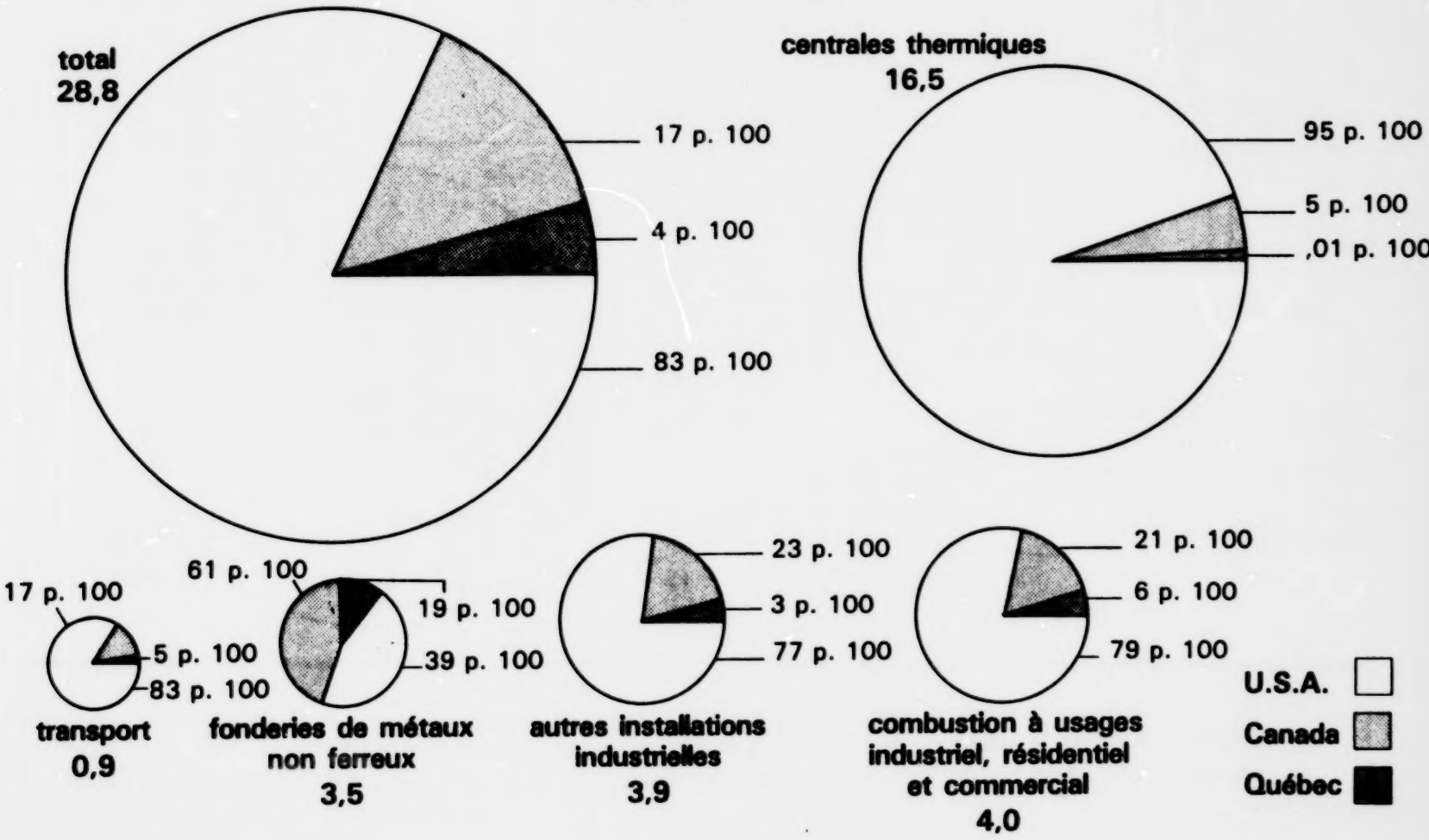


FIGURE 2

Contribution respective du Québec, du Canada et des États-Unis aux émissions totales et sectorielles de NO_x (en million de tonnes métriques)

Année de référence: 1980

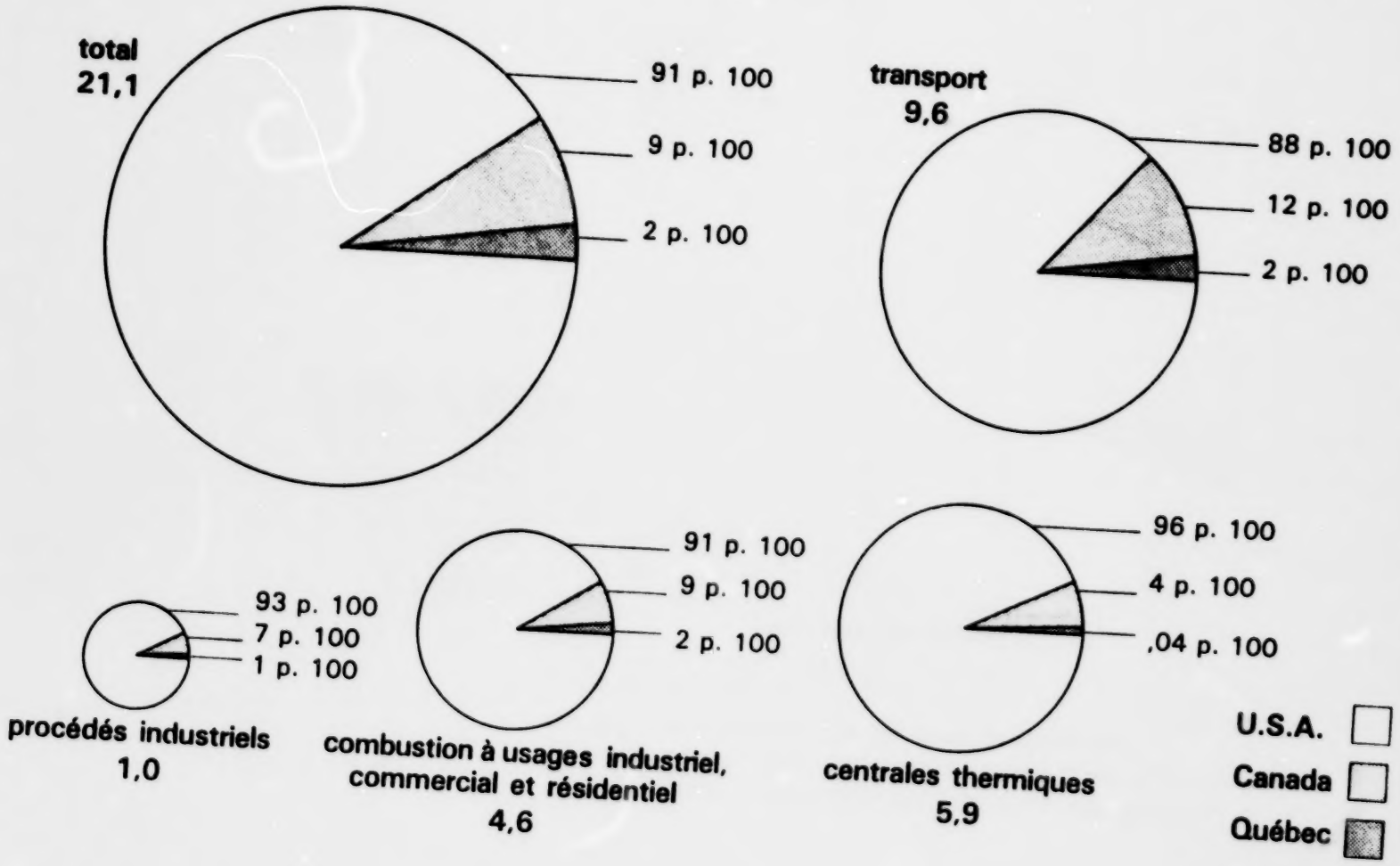
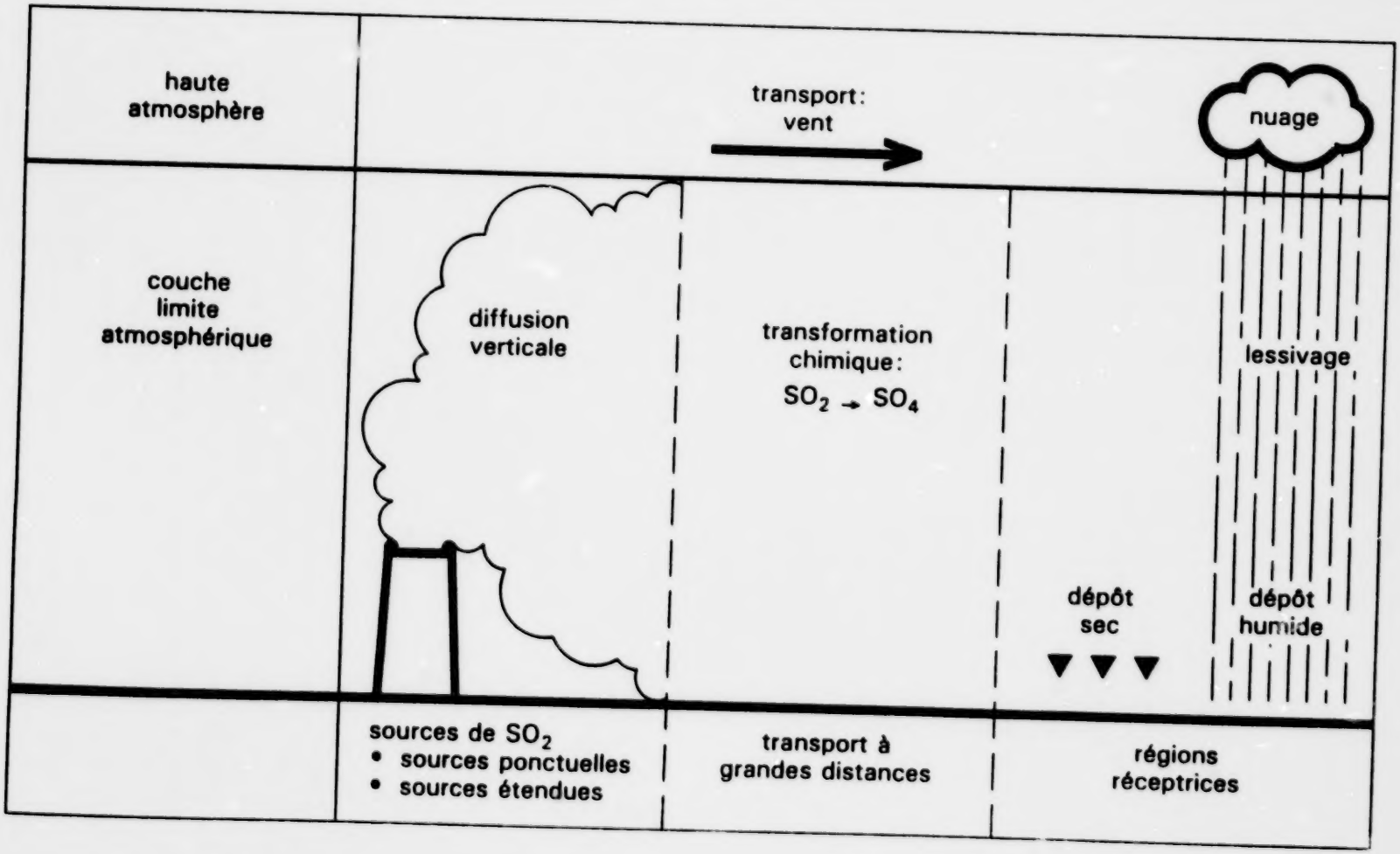


Figure 3

Illustration du problème des précipitations acides



Dépérissement de l'érablière au Québec: rôle de la pollution atmosphérique

Conférence présentée le
8 mai 1986 lors de la
journée d'information
sur l'acériculture

Préparée par

Bernard Bernier, ing. f., Ph. D.
et Michel Brazeau
Faculté de Foresterie et
de géodésie
Université Laval
Sainte-Foy

1. INTRODUCTION

On assiste depuis quelques années à un dépérissement inhabituel de l'érablière dans toute son aire de distribution au Québec, en particulier dans les Appalaches. Plusieurs causes ont été invoquées pour expliquer ce phénomène, qui tiennent à des stress biotiques et abiotiques. Une grande partie de la forêt feuillue au sud du St-Laurent a été sévèrement défoliée par des insectes herbivores au début des années 80 (Lachance et al., 1984). Dans plusieurs érablières, les défoliations se sont produites deux ou trois années consécutives, ce qui est suffisant pour causer un affaiblissement considérable des arbres et même leur mortalité (Giese et al., 1964; Houston, 1981), car les arbres affaiblis ont une sensibilité accrue envers des pathogènes racinaires auxquels ils sont normalement résistants (Houston et al., 1981). A ces stress biotiques se sont ajoutés des stress climatiques sévères, en particulier les extrêmes de température de février 1981 et la sécheresse exceptionnelle de l'été 1983. Pour avoir eu un impact réel probable, ces stress sont incapables d'expliquer, à eux seuls, le phénomène actuel du dépérissement qui a commencé avant 1981 et qui se produit maintenant dans des érablières qui n'ont pas été défoliées par les insectes.

Le problème du dépérissement de la forêt n'est pas confiné au Québec. On connaît sa sévérité en Europe centrale (Schütt et al., 1983; Schütt et Cowling, 1985), et plusieurs essences résineuses de l'Est du continent nord-américain montrent des signes inhabituels de dépérissement (McLaughlin, 1985). Le phénomène a des caractères en commun en Amérique et en Europe: il s'est développé rapidement depuis 1980, il touche un grand nombre d'espèces d'arbre à la fois et il couvre de grandes étendues.

Depuis quelques années, on attribue un rôle important à la pollution atmosphérique comme facteur contributif ou incitatif du dépérissement de la forêt (Prinz et al., 1982; Ulrich, 1983). Cependant, plusieurs chercheurs sont d'avis qu'on n'a pas suffisamment examiné les causes naturelles du dépérissement et que les preuves du rôle attribué à la pollution atmosphérique sont circonstantielles et encore insuffisamment fondées.

Le présent article vise à examiner le rôle de la pollution atmosphérique sur le dépérissement de l'érablière au Québec, en s'appuyant sur des données de la littérature scientifique pertinente et sur nos propres observations. Nous avons obtenu des preuves que l'ozone joue un rôle important dans ce phénomène. Bien que l'essentiel de notre exposé va porter sur l'illustration des symptômes observés, le présent texte est consacré a) à un examen des sources et de la nature des polluants atmosphériques, et b) à l'influence des dépôts acides et c) des oxydants photochimiques sur le dépérissement de l'érablière.

2. EXPOSE

Plusieurs symptômes du dépérissement actuel de l'érablière sont les mêmes que ceux qui ont été rapportés dans des cas antérieurs de dépérissement de la forêt feuillue et attribués à des causes naturelles (Sinclair, 1964): réduction de la croissance radiale, qui se traduit par la lenteur de cicatrisation des entailles; réduction de la croissance des rameaux, donnant naissance à des touffes de feuillage; réduction de la taille des feuilles, qui contribue à créer une cime aérée; mortalité des rameaux et des petites branches qui ne survivent pas à la période hivernale, suivie par la mortalité de branches plus grosses l'année suivante; production fréquente de rameaux adventifs sur le tronc et les grosses ramifications, accompagnant la mortalité des branches; invasion des grosses racines par l'Armillaire, un pathogène racinaire normalement tenu en échec lorsque l'arbre est vigoureux. D'autres caractères observés antérieurement, comme la détérioration des racines fines et l'épuisement progressif des réserves organiques, sont présumément aussi applicables à la situation actuelle parce qu'ils sont des manifestations du mauvais fonctionnement général de l'arbre et qu'ils accompagnent les autres perturbations (Sinclair, 1964).

Si les symptômes actuels du dépérissement de l'érable à sucre sont les mêmes que ceux qui ont été décrits antérieurement, pourquoi impliquer la pollution atmosphérique alors qu'on n'a pas vraiment étudié toutes les causes naturelles possibles et leur interaction? Sommes-nous, comme on l'a évoqué ailleurs, dans la situation où la pollution atmosphérique constitue "une cause qui cherhe un effet?"

Sans sous-estimer la contribution certaine des facteurs naturels, suffisamment de données sont maintenant acquises pour mettre en cause la pollution atmosphérique. Le problème est sans précédent. Même si les stress naturels, pris individuellement ou collectivement, ont contribué et contribuent encore à exacerber le problème, ils sont incapables d'expliquer, à eux seuls, le dépérissement qui affecte un grand nombre d'espèces d'arbre en même temps, couvre un très vaste territoire, se produit dans des peuplements associés à toute une gamme de sols, et ne cesse de progresser. De plus, si les symptômes généraux du dépérissement des arbres varient peu selon la cause, par contre, dans le cas présent, nous avons observé des symptômes foliaires qui résultent de l'action de polluants atmosphériques, en l'occurence l'ozone (O_3).

2.1 Source et nature des polluants atmosphériques

Les *polluants atmosphériques sont classés en polluants primaires* et polluants *secondaires*, selon qu'ils originent sous forme toxique directement de la source d'émission (e.g. SO_2) ou

qu'ils résultent de réactions qui se produisent dans l'atmosphère (e.g. O_3).

La source principale des polluants atmosphériques est l'emploi de combustibles fossiles pour la production d'énergie, le transport des véhicules et divers procédés de transformation industrielle. Les principaux polluants issus de ces sources sont l'anhydride sulfureux (SO_2), les oxydes d'azote (NO_x) et des composés volatils organiques, en particulier les hydrocarbures. Beaucoup d'autres polluants, gazeux ou particulaires, sont produits de sources locales et ne sont pas discutés ici. Environ les deux tiers des émissions de SO_2 aux USA proviennent de la combustion des charbons dans les centrales thermiques, alors que les trois quarts des émissions au Canada proviennent de l'industrie et des fonderies (Kozlowski et Constantinidou, 1986). Plus de la moitié des émissions d'oxydes d'azote origine des moteurs à combustion interne. Des quantités considérables d'oxyde d'azote sont produites naturellement mais, en raison de leur distribution à l'échelle du globe terrestre, ils ne représentent pas une menace. Même si la production anthropique de ces gaz est comparativement 10 fois plus faible (Lacasse et Treshow, 1978), elle est concentrée sur une très petite surface, d'où leur éventuelle phytotoxicité. Mais cette phytotoxicité est surtout indirecte, par suite de la participation des oxydes d'azote et des hydrocarbures aux réactions photochimiques dans l'atmosphère qui donnent naissance aux photooxydants, surtout l'ozone, mais aussi le peroxyacétyl nitrate (PAN) et des homologues de PAN.

Les composés phytotoxiques du soufre et de l'azote sont introduits dans l'environnement sous forme de dépôts secs ou humides. Dans les dépôts secs, les composés gazeux ou particulaires sont transférés à la végétation par turbulence et éventuellement par diffusion. Dans les dépôts humides, ils sont transportés en solution ou en suspension dans le brouillard, la pluie et la neige. Les "pluies acides" proviennent principalement de la dissolution, dans l'eau atmosphérique, des produits d'oxydation de SO_2 et de NO_x. La chimie de l'atmosphère qui conduit à la production d'oxydants photochimiques et celle qui conduit aux pluies acides ont plusieurs traits en commun (Davis et al., 1984).

L'importance relative des dépôts secs et humides varie régionalement et selon la proximité des sources d'émission, la proportion des dépôts secs diminuant avec l'éloignement de la source. Dans l'environnement de la forêt feuillue (l'érablière) au Québec, les concentrations de SO_2 dans l'air ambiant sont probablement bien en-dessous des seuils de phytotoxicité, si l'on fait exception de sources ponctuelles d'émission dont l'importance régionale est négligeable.

2.2 Influence des dépôts acides sur la forêt

Les dépôts acides peuvent affecter la forêt d'au moins trois façons: 1) par une action directe sur le feuillage; 2) par une réduction de la disponibilité des éléments nutritifs pour la végétation; 3) par la génération de concentrations toxiques de métaux lourds, en particulier l'aluminium, dans la solution du sol.

2.21 L'action directe des polluants gazeux primaires sur les plantes, y compris les arbres, a fait l'objet de travaux élaborés; mais, en raison des très faibles concentrations (présumées) dans l'air ambiant de la forêt feuillue au Québec, on peut penser que cette action est négligeable. Cependant, on connait encore peu de choses sur la participation possible de faibles doses (concentration x longueur d'exposition) de SO_2 en action synergique avec d'autres polluants, en particulier l'ozone (Reich et al., 1983). L'absence de monitoring des polluants gazeux (dépôts secs) au Québec est un handicap pour la recherche et cette activité devrait figurer parmi les priorités de recherche à développer en regard du dépérissement de la forêt.

Par contre, les données disponibles sur les dépôts humides révèlent que les apports de SO_4^{2-} sont importants et que l'acidité des précipitations est, en moyenne, élevée. Une conséquence directe de l'acidité des précipitations sur le feuillage est un lessivage possiblement accru de cations (Wood et Bormann, 1975) par réaction d'échange à la surface des feuilles entre H^+ atmosphérique et des cations du feuillage . Ce lessivage se traduit par une réduction de l'acidité des précipitations et par un transfert au sol de cations comme sels de SO_4^{2-} et NO_3^-. Des données préliminaires sur le cycle des éléments dans une érablière des Basses-Terres ont révélé que SO_4^{2-} était l'anion dominant des lessivats d'égouttement, que les concentrations en K^+, Ca^{2+} et Mg^{2+} dans l'eau d'égouttement étaient 7 fois (K^+) et 2 fois (Ca^{2+}, Mg^{2+}) celles des précipitations incidentes, et que l'acidité passait de pH 4.5 à pH 5.3 (Robitaille et al., en préparation). Cependant, on ne connait pas la contribution des dépôts acides aux transferts aqueux d'éléments.

Pour la forêt feuillue (érablière) au New Hampshire, Eaton et al. (1973) ont montré que les précipitations à faible pH accélèrent la circulation des éléments à l'intérieur de l'écosystème; dans ce cas, ils ont estimé que 27% du lessivage cationique était causé par l'acidité des précipitations. Dans le même type de forêt, Cronan (1984) a montré que les précipitations acides étaient neutralisées d'une façon importante par le couvert forestier; cette neutralisation était surtout marquée durant la sénescence foliaire.

Il est bien démontré que la qualité des précipitations qui

atteignent la couverture morte en forêt est très différente de celle des précipitations incidentes (Parker, 1983). Selon Morrisson (1984), l'eau des lessivats est presqu'invariablement plus riche en SO_4^{2-} et en plusieurs cations métalliques. Il est difficile cependant de déterminer a) quelle proportion de l'enrichissement est due au lessivage des dépôts secs et, surtout, b) quelle est la contribution indirecte des photooxydants à ce phénomène. Bien qu'il existe une technologie permettant de répondre à la première question (Lindberg et Lovett, 1985), on n'a pas encore, à notre connaissance, étudié le deuxième aspect.

2.22 L'influence des dépôts acides sur l'appauvrissement du sol par lessivage accru des cations basiques a été revue récemment par Morrisson (1984). Selon lui, les données acquises des travaux de terrain suggèrent que SO_4^{2-} anthropique a un rôle de plus en plus significatif comme anion vecteur et, par conséquent, sur le transport des cations dans les sols recevant une charge élevée de dépôts acides. Mais le lessivage est réduit par la capacité d'adsorption de SO_4^{2-} du sol. Johnson et al. (1985) ont estimé que pour des forêts de chêne et de tulipier au Tennessee, les taux de lessivage des cations du feuillage et du sol pourraient être accélérés par un facteur de 2 ou 3 sous l'influence des dépôts acides.

Plusieurs sols d'érablière de la région des Appalaches sont superficiels et le potentiel d'appauvrissement en cations basiques de ces sols peut reposer directement sur leur pouvoir d'adsorption de SO_4^{2-}. Des recherches additionnelles sont nécessaires pour déterminer la sensibilité de ces sols aux dépôts acides.

2.23 Un troisième effet négatif possible de l'action des dépôts acides sur la forêt est l'acidification progressive du sol pouvant conduire à la solubilisation de métaux lourds, en particulier l'aluminium, dans la solution du sol (Ulrich, 1983). D'une façon particulière, un ratio molaire Ca/Al inférieur à l'unité aurait une influence néfaste sur le système racinaire et constituerait un facteur incitatif du dépérissement de la forêt (Ulrich, loc.cit.).

En 1984, nous avons fait une étude dans 14 érablières représentant une gamme de niveaux de dépérissement, allant de nul à élevé, pour mesurer les concentrations en Ca et Al de la solution du sol, à diverses profondeurs et à des distances progressives du fût de plusieurs arbres (Bernier et al. non publié). L'approche utilisée fut celle décrite par Skeffington (1983). En règle générale, dans les érablières où le ratio Ca/Al de la solution du sol à la profondeur 20-30 cm était inférieur à l'unité, les arbres étaient dépérissants; mais plusieurs érablières dépérissantes étaient associées à un ratio supérieur à l'unité, allant jusqu'à environ 2.5. De plus, le niveau de dépérissement s'est

avéré être peu corrélé au ratio Ca/Al de la solution du sol, indiquant que ce ratio, s'il intervient dans le dépérissement des érablières, n'est pas le seul facteur en cause. Cette conclusion est importante dans le cas du dépérissement de la forêt feuillue au Québec, et elle suggère que le dépérissement est un problème complexe qui n'est pas lié aux seuls changements entraînés au niveau du sol par les polluants atmosphériques acides.

En résumé, bien que les dépôts acides constituent une menace réelle pour la qualité de l'environnement et l'intégrité de la forêt, du moins à moyen ou à long terme, les preuves de cette action néfaste en relation avec le dépérissement actuel de l'érablière sont encore ténues et ce pour plusieurs raisons: 1) bien que l'acidité incidente peut être neutralisée à un degré important par le couvert forestier et que les lessivats d'égouttement montrent un enrichissement en cations basiques, ce phénomène de lessivage foliaire doit être évalué dans la perspective globale du cycle des éléments. Miller (1984) est d'avis que les mécanismes de remplacement sont suffisamment rapides pour restaurer les pools foliaires, à moins que l'intégrité des tissus soit modifiée par des stress additionnels comme l'ozone; 2) le lessivage des cations du sol doit aussi être interprété à la lumière des mécanismes de restauration des pools d'éléments disponibles. Malheureusement, les données sur le taux d'altération des minéraux sont encore déficientes. Les sols les plus sensibles au lessivage sont les sols minces, issus d'une roche-mère intrinsèquement pauvre en K^+, Ca^{2+} et/ou Mg^{2+}, et dont le pouvoir d'adsorption de SO_4^{2-} est faible; 3) il n'y a pas de preuves formelles que la libération de l'aluminium dans la solution du sol soit en cause dans le dépérissement de l'érablière, du moins dans les sols à pH modérément élevé.

Ces conclusions, non définitives, rejoignent celles qui sont présentées dans des synthèses récentes traitant de l'influence des dépôts acides sur la forêt (Amthor, 1984; Evans, 1982; Johnson et Siccama, 1983; Kozlowski et Constantinidou, 1986; McLaughlin, 1985; Morrison, 1984) et qui indiquent que les dépôts acides *seuls* ne peuvent expliquer le phénomène du dépérissement de la forêt, à l'exception des forêts de conifères de haute altitude en Allemagne et aux USA.

2.3 Rôle des oxydants photochimiques

Au cours des deux dernières années, nous avons observé la présence de lésions attribuées à l'ozone sur le feuillage d'érable à sucre et d'espèces compagnes, tant chez les arbres adultes que sur la régénération dans les érablières au sud du St-Laurent. Ces observations montrent que dans la région des Basses-Terres et des Appalaches, il existe des périodes où l'ozone est présent en concentrations phytotoxiques et que cette pollution affecte l'intégrité des écosystèmes forestiers.

La présence de concentrations élevées d'ozone dans les régions rurales implique que ce polluant et ses précurseurs ne sont pas d'origine locale, mais proviennent du transport à longue distance. La région se situe dans le corridor Windsor - Québec, sur une trajectoire sud-ouest / nord-est, suggérant un lien étroit entre la qualité de l'air régional et les conditions du temps à l'échelle synoptique (Davis et al., 1984). Les faibles concentrations d'oxyde nitrique (NO) dans les endroits éloignés des sources d'émission ne permettent pas la décomposition rapide de l'ozone qui peut demeurer à des concentrations relativement élevées (Cleveland et Graedel, 1979). Cela a aussi pour effet de réduire la durée des périodes libres de pollution qui sont importantes pour la récupération des plantes qui ont préalablement absorbé de l'ozone (Guderian et al., 1985).

La sévérité des effets phytotoxiques de l'ozone et autres oxydants photochimiques a fait l'objet de revues importantes (Guderian et al., 1985; Landolt et Keller, 1985; Linzon et al., 1975): elle est fonction des doses de polluants, des conditions climatiques et édaphiques, ainsi que de l'état physiologique et du stade de développement des plantes. Les facteurs physiologiques et environnementaux qui favorisent l'ouverture des stomates et les échanges gazeux sont d'une importance déterminante (Carlson, 1979; Landolt et Keller, 1985). De plus, dans le cas de l'ozone, la réponse des plantes semble être directement corrélée à l'intensité de la lumière durant l'exposition et ce facteur semble avoir un effet qui va au-delà de l'effet de la lumière sur l'activité stomatale (Linzon et al., 1975).

Les seuils de phytotoxicité de l'ozone pour l'apparition de lésions visibles sur le feuillage des dicotylédones sont de l'ordre de 0,10-0,30 ppm pour une exposition de 2-4 h (Lacasse et Treshow, 1978; Smith, 1981), mais il existe beaucoup de différences de sensibilité entre les espèces et les clônes. De plus, on connait mal l'effet chronique de faibles concentrations sur une longue période d'exposition. L'érable à sucre est classé parmi les espèces dites "résistantes" (Hibben, 1969; Lacasse et Treshow, 1978). Ce classement relatif ne tient pas compte des effets synergiques possibles dans le cas de mélanges de polluants, comme c'est vraisemblablement le cas de l'air ambiant. De plus, il est possible que le statut nutritif des arbres influence leur sensibilité à l'ozone, mais la littérature scientifique pertinente à ce sujet est souvent contradictoire, possiblement en raison de différences d'espèces étudiées et de conditions expérimentales (Guderian et al., 1985).

Bien qu'on ne dispose pas encore de réseau de monitoring des polluants gazeux dans l'environnement de la forêt feuillue au Québec, l'ampleur des lésions foliaires observées ne laisse aucun doute quant au rôle joué par l'ozone dans la réduction de croissance et le dépérissement de l'érablière. Ces observations sug-

gèrent aussi que la pollution par l'ozone peut exister depuis plusieurs années, à des doses chroniques suffisantes pour affecter la croissance et la vitalité de la forêt. Ceci pourrait expliquer la lenteur de cicatrisation des entailles chez l'érable à sucre, depuis plusieurs années, dans un grand nombre d'érablières des Appalaches. La réduction de vitalité des arbres pourrait aussi expliquer leur sensibilité accrue aux stress biotiques et abiotiques.

Les perturbations physiologiques causées par l'ozone sur les plantes ligneuses sont nombreuses et elles ont fait l'objet de revues importantes (Guderian et al., 1985; Linzon et al., 1975; Malhotra et Khan, 1984). Ces changements touchent plusieurs caractéristiques fonctionnelles et structurales résultant de la perturbation de l'intégrité des membranes cellulaires. Ces perturbations entraînent des pertes accrues d'eau et d'ions, une perte partielle de la compartimentation cellulaire, et l'altération de plusieurs processus métaboliques: réduction de la photosynthèse, changements dans l'allocation du carbone, sénescence hâtive, etc. Une conséquence majeure de l'augmentation de la perméabilité des membranes cellulaires est un lessivage accru d'éléments nutritifs du feuillage. Ces pertes, qui sont vraisemblablement aussi favorisées par les dépôts acides (Wood et Bormann, 1975), jouent probablement un rôle déterminant dans la perturbation du statut nutritif qui est liée au dépérissement de l'érablière.

La symptomatologie foliaire associée au dépérissement de l'érablière est beaucoup plus complexe que les seules lésions induites par l'ozone, parce qu'en plus de l'action phytotoxique qui a cours consécutivement à l'absorption du polluant, le statut nutritif des arbres est perturbé, ce qui entraîne des symptômes foliaires de carence nutritive. Cette perturbation semble découler, en partie du moins, d'effets cumulatifs étalés possiblement sur plusieurs années. Nous croyons que c'est cette association d'effets directs et d'effets cumulatifs qui est à l'origine du dépérissement de l'érablière. Des recherches additionnelles sont requises pour élucider plusieurs aspects complexes de cette association.

3. CONCLUSION

La pollution atmosphérique, seule ou de concert avec des stress naturels, joue un rôle probablement majeur dans le dépérissement de l'érablière au Québec. Nous avons maintenant des preuves tangibles que l'ozone est impliqué dans ce phénomène sur le territoire couvrant quelque 17 000 km² où nous avons fait des observations.

Les preuves impliquant l'action des dépôts acides dans le

dépérissement de l'érablière sont encore ténues. Cependant, compte tenu de l'interdépendance des processus de formation des oxydants photochimiques et des polluants acides (Becker et al., 1985; Davis et al., 1984) et du rôle de ces derniers sur le lessivage des cations du feuillage et du sol, il est très probable que l'action de l'ozone est exacerbée par celle des dépôts acides.

Nous faisons face à un problème écologique probablement sans précédent, dont on ne peut malheureusement penser qu'il n'ira qu'en progressant avec l'augmentation de la pollution atmosphérique. Il semble possible de l'atténuer par des traitements visant à corriger les perturbations du statut nutritif des arbres qui sont vraisemblablement entraînées par la pollution. Mais ceci est un palliatif permettant de sauver du temps. Seule la réduction des émissions de polluants atmosphériques constitue un moyen de lutte efficace.

4. REMERCIEMENTS

Les résultats de recherche rapportés ici ont été obtenus dans le cadre de travaux de recherche subventionnés par le Ministère de l'énergie et des ressources du Québec, le Ministère de l'agriculture, des pêcheries et de l'alimentation du Québec et le Service canadien des forêts. Les auteurs remercient H. Boisvert, A. Brousseau, J. Cantalejo, C. Gagnon, J. Gagnon, M. Giguère, D. Paré et J.-L. Pelletier pour leur collaboration à divers aspects des travaux.

5. BIBLIOGRAPHIE

Amthor, J.S. 1984. Does acid rain directly influence plant growth? Environ. Pollut. (Series A) 36:1-6.

Becker, K.H., W. Fricke, J. Löbel, et U. Schurath. 1985. Formation, transprot, and control of photochemical oxidants. p.1-125 In R. Guderian (ed.), Air Pollution by Photochemical Oxidants. Ecol. Studies 52, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo.

Carlson, R.W. 1979. Reduction in the photosynthetic rate of Acer, Quercus and Fraxinus species caused by sulphur dioxide and ozone. Environ. Pollut. 18:159-170.

Cleveland, W.S., et T.E. Graedel. 1979. Photochemical air pollution in the northeast United States. Science 204:1273-1278.

Cronan, C.S. 1984. Biogeochemical responses of forest canopies to acid precipitation. p.65-79 In: R.A. Linthurst (ed.), Direct and Indirect Effects of Acidic Precipitation on Vege-

tation. Butterworth Publ.

Davis, C.S., M.D. Morgan, R.V. Portelli, N.W. Reid, D.V. Bates, et D.B. Scheer. 1984. Initial Assessment Report on Photochemical Oxidant Air Pollutants in Canada. Concord Sci. Corpo., Downsview, Ont.

Eaton, J.S., G.E. Likens et F.H. Bormann. 1973. Throughfall and stemflow chemistry in a northern hardwood forest. J. Ecol. 61:495-508.

Evans, L.S. 1982. Biological effects of acidity in precipitation on vegetation: a review. Environ. Exp. Bot. 22:155-169

Giese, R.L., D.R. Houston, D.M. Benjamin, J.E. Kuntz, J. Kapler et D.D. Skilling. 1964. Studies of maple blight. Univ. Wisconsin Res. Bull. 250.

Guderian, R., D.T. Tingey et R. Rabe. 1985. Effects of photochemical oxidants on plants. p.126-333 In: R. Guderian (ed.), Air Pollution by Photochemical Oxidants. Ecol. Studies 52, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo.

Hibben, C.R. 1969. Ozone toxicity to sugar maple. Phytopathology 59:1423-1428.

Houston, D.R. 1981. Stress-triggered tree diseases: the dieback and declines. USDA For. Serv. NE-INF 41-81.

Houston, D.R., J. Parker et P.M. Wargo. 1981. Effects of defoliation on trees and stands. p.217-297 In: The Gypsy Moth: Research toward Integrated Pest Control. USDA For. Serv. Tech. Rep. 1584.

Johnson, A.H., et T.G. Siccama. 1983. Acid deposition and forest decline. Environ. Sci. Technol. 17:294A-305A.

Johnson, D.W., D.D. Richter, G.M. Lovett et S.E. Lindberg. 1985. The effects of atmospheric deposition on potassium, calcium and magnesium cycling in two deciduous forests. Can. J. For. Res. 15: 773-782.

Kozlowski, T.T., et H.E. Constantinidou. 1986. Responses of woody plants to environmental pollution. For. Abst. 47:5-51.

Lacasse, N.L., et M. Treshow (eds.). 1978. Diagnosing Vegetation Injury Caused by Air Pollution. U.S. Environ. Prot. Agency, Research Triangle Park, N.C.

Lachance, D., P. Benoit, G. Laflamme, G. Bonneau et R. Picher.

1984. Insectes et maladies des arbres, Québec 1983. Foret Conser. 50: Suppl.

Landolt, W., et T. Keller. 1985. Uptake and effects of air pollutants on woody plants. Experientia 41:301-310.

Lindberg, S.E., et G.M. Lovett. 1985. Field measurements of particle dry deposition rates to foliage and inert surfaces in a forest. Environ. Sci. Technol. 19:238-244.

Linzon, S.N., W.W. Heck et F.D.H. MacDowall. 1975. Effects of photochemical oxidants on vegetation. p.89-142 In: Photochemical Air Pollution: Formation, Transport, and Effects. Nat. Res. Counc. Canada, Pub. No. 14096.

Malhotra, S.S., et A.A. Khan. 1984. Biochemical and physiological impact of major pollutants. p.113-157 In: M. Treshow (ed.), Air Pollution and Plant Life. John Wiley & Sons, Ltd.

McLaughlin, S.B. 1985. Effects of air pollution on forests: a critical review. J. Air Pollut. Control Assoc. 35:512-534.

Miller, H.G. 1984. Deposition - plant - soil interactions. Phil. Trans. Roy. Soc. London 305:339-359

Morrisson, I.K. 1984. Acid rain: a review of literature on acid deposition effects in forest ecosystems. For. Abst. 45:483-506.

Parker, G.G. 1983. Throughfall and stemflow in the forest nutrient cycle. Adv. Ecol. Res. 13:57-133.

Prinz, B., H. M. Krause et H. Stratmann. 1982. Verlaüfiger Bericht der Landesanstalt für Immissionschutz über Untersuchungen zur Aufklärung der Waldschäden in der Bundesrepublik Deutschland. LIS-Ber. 28. Essen.

Reich, P.B., J.P. Lassoie et R.G. Amundson. 1983. Reduction in growth of hybrid poplar following field exposure to low levels of O_3 and (or) SO_2. Can. J. Bot. 62:2835-2841.

Schütt, P., W. Koch, H. Blaschke, K.J. Lang, H.J. Schuk et H. Summerer. 1983. So stirb der Wald. BLV-Verlag, Munich.

Schütt, P., et E.B. Cowling. 1985. Waldsterben, a general decline of forests in Central Europe: Symptoms, development, and possible causes. Plant Disease 69:548-558.

Sinclair, W.A. 1964. Comparisons of recent declines of white

ash, oaks and sugar maple in northeastern woodlands. Cornell Plantations 20:62-67.

Skeffington, A. 1983. Soil properties under three species of tree in Southern England in relation to acid deposition and throughfall. p.219-231 In: B. Ulrich et J. Pankrath (eds.), Effects of Accumulation of Air Pollutants in Forest Ecosystems. D. Reidel Publ. Co.

Smith, W.H. 1981. Air Pollution and Forests. Springer-Verlag, New York.

Ulrich , B. 1983. A concept of forest ecosystem stability and acid deposition as driving force for destabilization. p.1-29 In: B. Ulrich et J. Pankrath (eds.), Effects of Accumulation of Air Pollutants in Forest Ecosystems. D. Reidel Publ. Co.

Wood, T., et F.H. Bormann. 1975. Increases in foliar leaching caused by acidification of an artificial mist. Ambio 4:169-171.

Dépérissement des érablières: des éléments de solution

Conférence présentée le
8 mai 1986 lors de la
journée d'information
sur l'acériculture

Préparée par

Denis Lachance, ing. f., Ph. D.
Service canadien des forêts
Sainte-Foy

LE DÉPÉRISSEMENT DES ÉRABLIÈRES: ÉLÉMENTS DE SOLUTION

par: Denis Lachance

Les exposés qui nous ont été faits depuis le début de cette journée nous ont permis de bien cerner le problème du dépérissement des érablières et de mettre à jour l'état de nos connaissances sur les causes ou les mécanismes possiblement impliqués dans ce phénomène. On m'a demandé de faire un court résumé des exposés de la journée tout en présentant une synthèse du problème. Je m'efforcerai également de dégager ou de souligner individuellement des éléments de solution qui nous ont été suggérés lors des exposés proprement dits et, si possible, d'en envisager d'autres à partir de l'ensemble des résultats rapportées ici ou ailleurs.

La première conférence nous soulignait que le dépérissement des arbres est un phénomène complexe qui résulte de l'interaction de causes physiques et biologiques. La plupart du temps ces causes sont peu évidentes, même si les symptômes ne laissent aucun doute sur l'intensité du stress que subissent les arbres. Je veux appuyer sur ce point de la complexité du phénomène. Ceci me semble très important pour éviter des mésententes ou des frustrations surtout entre les chercheurs et les autres intervenants intéressés au problème. Identifier les causes du phénomène est et demeure un processus long et laborieux. Nous devons accepter l'idée d'une évolution relativement lente des connaissances en ce domaine. Il en est de même pour les éléments de solution qui s'accumuleront graduellement. En plus, il sera peut-être difficile de mettre en place les solutions préconisées une fois les causes identifiées.

On nous a parlé ensuite des dépérissements passés et présents. Le cheminement des travaux de recherches antérieurs et des travaux en cours, nous incite à la modération dans nos attentes. En effet, nous avons vu que le dépérissement des arbres n'est pas un problème rencontré uniquement chez nous. Dans le passé, des dépérissements ont sévi chez plusieurs essences d'arbres ou groupes d'essences et cela dans plusieurs pays. Dans plusieurs cas, les causes de ces dépérissements ne furent jamais identifiées. Il est même survenu des situations où la maladie vint à disparaître ultérieurement sans traitement précis. Le fléau du dépérissement du bouleau au Québec dans les années 40 et 50 en demeure le meilleur exemple. Des recherches intensives menées dans le nord-est du Canada durant près de 20 ans ont amené l'élaboration de plusieurs hypothèses sur les causes de ce dépérissement. Par contre, aucune ne fut retenue unanimement par les chercheurs impliqués et naturellement, aucune méthode précise de lutte ne fut préconisée. La maladie a disparu aussi mystérieusement qu'elle était venue. Et nos bouleaux poussent bien aujourd'hui. Dans plusieurs autres cas de dépérissement, les causes principales trouvées ou invoquées variaient sensiblement: le climat, les insectes, les méthodes d'aménagement, le site inapproprié et l'origine des plants furent tous cités comme cause à un moment ou l'autre. La complexité du phénomène demeure toujours évidente.

Aujourd'hui, on observe cependant une certaine uniformité de pensée sur la cause principale des dépérissements actuels. Nous avons tous entendus parler de la dégradation et de la mortalité des forêts en Allemagne et en Europe de l'Ouest en général. Les peuplements d'épinette rouge du nord-est américain subiraient présentement un dépérissement anormal. Les mêmes problèmes sont signalés en Amérique Centrale et même dans quelques autres parties du monde. Enfin, nous vivons le problème du dépérissment des érablières en Ontario et au Québec. Partout, la pollution atmosphérique est la première soupçonnée et même blamée. Est-ce le résultat d'une hystérie collective ou d'une communication trop superficielle entre les chercheurs des différents pays? La pollution atmosphérique en est-elle la cause primaire réelle? Plusieurs indications à cet effet existent mais peu de preuves formelles ont été apportées à date. Des différences très grandes existent entre les essences touchées, les climats existants aux différents endroits, et entre les types et les niveaux de pollution impliqués dans chaque pays. D'autre part, si l'on accepte la thèse de la pollution atmosphérique comme cause principale, le problème suivant est de préciser le type de polluant en cause. Donc, si nous gardons à l'esprit la pollution comme suspect numéro un, essayons tout de même de garder un esprit ouvert et réceptif à d'autres hypothèses.

Un relevé aérien effectué, à l'été 1985, dans le sud du Québec par le ministère de l'Énergie et des Ressources a révélé que 215 000 ha de forêt d'érablière sont affectés d'une façon significative par le dépérissement. Ceci représente environ 40 % de la forêt d'érable visée par ce relevé. Des comparaisons faites avec un relevé semblable, réalisé à l'été 1984, montrent que le problème s'intensifie un peu, mais surtout qu'il se propage en étendue. De plus, on rapporte que plusieurs essences décidues autres que l'érable à sucre montrent maintenant des symptômes de dépérissement. Pour nous du Québec, le problème est donc réel et de taille. Ce fléau affecte un grand nombre de producteurs de sirop d'érable. Les conséquences en sont importantes et quelquefois dramatiques pour ceux-ci. Comme nous l'avons aussi vu ce matin, l'impact socio-économique de ce phénomène s'accentue et en fait, c'est le coeur de notre industrie des produits de l'érable qui est directement menacé. En plus, comme le phénomène s'étend et affecte d'autres essences que l'érable, la forêt feuillue du sud du Québec est semble-t-il aussi menacée. L'impact socio-économique pourrait devenir encore plus important qu'il ne l'est présentement.

Un autre conférencier a présenté les relations entre les différentes sources d'émission des polluants, leur transformation et leur transport dans l'atmosphère. On a aussi vu leur mode de déposition qui en résulte au sol. Cette conférence se terminait avec la description du réseau d'échantillonnage des précipitations du Ministère de l'Environnement du Québec, comprenant 46 stations réparties à travers la province.

Enfin, des rapports de travaux de recherches nous furent présentés, en particulier ceux de Mm Gagnon et Roy du MER et du Dr Bernier de la Faculté de foresterie et de géodésie de l'Université Laval.

Je retiens deux points des travaux présentés par les chercheurs du MER. Premièrement, on semble avoir établi une relation étroite entre la sévérité de la maladie et la densité du peuplement: les arbres malades seraient plus fortement affectés et plus nombreux dans les peuplements clairsemés, c'est-à-dire ceux où le couvert forestier est ouvert par rapport aux peuplements où le couvert est plein ou fermé. Cette observation nous suggère un premier élément de solution ou plutôt de prévention du dépérissement. Il s'agirait de n'exécuter des coupes d'éclaircies que d'une façon très discriminatoire dans les érablières afin d'éviter de créer des trouées importantes dans le couvert forestier. En d'autres mots, pratiquer l'éclaircie d'une façon très graduelle si on doit la faire. Je présume que si je laissais la parole à l'auditoire à ce moment, il y aurait immédiatement dix propriétaires d'érablière pour me souligner qu'ils observent un dépérissement important dans leurs érablières même s'ils n'ont pas exécuté de coupe d'éclaircie depuis plusieurs années. À ces commentaires présumés, je répondrais alors qu'il pourrait être survenu, d'une façon naturelle, des trouées importantes dans le couvert forestier; soit par un chablis léger, soit par la mortalité de gros arbres. Il se pourrait, d'autre part, que ces peuplements soient situés sur des sites particulièrement propices au dépérissement et qu'ils en aient été affectés de toute façon. Dans ce cas, des éclaircies auraient peut-être eu pour effet d'augmenter la sévérité du dépérissement observé.

En gardant en mémoire la préservation du couvert forestier, nous pourrions possiblement suggérer aussi aux propriétaires subissant du dépérissement dans leurs érablières, de retarder la coupe des arbres légèrement ou modérément affectés. Couper ces arbres aurait pour effet d'augmenter l'importance des trouées et du même coup, d'accentuer la sensibilité des arbres environnants. Je souligne ici que cette relation de faible densité des arbres et dépérissement plus sévère ne demeure tout de même qu'une observation parmi plusieurs autres. Ceci ne veut absolument pas dire que toute trouée dans le couvert forestier conduit inévitablement au dépérissement. Nous avons affaire à un système biologique lui-même bien complexe et dont les réactions diffèrent souvent des prévisions scientifiques, même celles apparemment les mieux fondées.

Le deuxième point retenu de ce premier exposé scientifique concerne la diminution sensible des cations échangeables, en particulier du calcium (Ca^{++}), magnésium (Mg^{++}) et du potassium (K^{+}). Cette diminution est observée dans la majorité des pédons ou échantillons de sol analysés récemment et qui avaient antérieurement été analysés, il y a environ 10 à 18 ans. Ces observations suggèrent un effet néfaste des précipitations acides. Celles-ci auraient une influence directe sur le pH, donc sur l'acidité des sols, et par conséquent, sur le processus de lessivage de ces

éléments. Ces observations dans le sol n'excluent cependant pas le fait que les parties aériennes des arbres subissent aussi des dommages sensibles par ces mêmes précipitations acides ou par d'autres polluants atmosphériques. Dans ce dernier cas, le stress imposé aux arbres en serait proportionnellement augmenté. Une diminution de la quantité de cations échangeables dans les sols est aussi observée fréquemment, particulièrement en Allemagne. Pour remédier à de telles carences, le chaulage des sols est souvent préconisé comme solution. La disponibilité et la familiarité relative d'utilisation de ce matériel par les fermiers et propriétaires de lots boisés militent en faveur de l'application de ce produit. Cependant, les résultats des expériences européennes de chaulage des sols forestiers sont moins positives qu'on ne l'aurait espéré. Plusieurs spécialistes des sols craignent aussi que l'utilisation de ce produit ne cause, à long terme, des résultats plus néfastes que bénéfiques.

Si les précipitations acides sont la cause principale de ces déficiences en cations échangeables, nul doute que la diminution de la quantité de telles précipitations serait la solution ultime. Pour l'instant, nous pouvons peut être envisager de conserver une certaine quantité d'essences compagnes de l'érable à sucre dans les érablières. Ceci pourrait permettre de maintenir une plus grande stabilité du sol et un meilleur équilibre des éléments qui s'y trouvent. Les conifères en particulier utilisent beaucoup moins ces cations échangeables que les feuillus. De plus, le principe d'éviter de causer des trouées dans le couvert forestier en pratiquant de l'éclaircie s'applique encore ici. Ne coupons pas ces essences compagnes à l'aveuglette. Jusqu'à preuve du contraire, traitons ces essences avec délicatesse. La maxime "mieux vaut prévenir que guérir" s'applique ici. Acceptons, du moins temporairement, un changement majeur dans le mode traditionnel d'aménagement des érablières. Les essences compagnes ont peut-être plus d'importance que nous l'aurions cru.

Dans le deuxième exposé de la journée sur des travaux de recherches, j'ai retenu aussi deux points. D'abord, il semble que les précipitations acides aient une influence déterminante, mais à long terme, sur le dépérissement des érables. Une revue de litérature scientifique récente sur ce sujet ainsi que les résultats de travaux exécutés ici à l'Université Laval suggèrent une telle conclusion. Des analyses de feuillage et de sols dans des érablières affectées à différents niveaux indiquent des pertes sensibles d'éléments importants pour la croissance des plantes. Un lessivage important apparaît comme l'hypothèse la plus plausible à ces constatations. Il n'en demeure pas moins cependant que des preuves formelles de l'effet direct des précipitations acides sur le dépérissement nous manquent encore.

Le deuxième sujet traité dans cet exposé concernait les symptômes produits sur les arbres par les oxydants, particulièrement par l'ozone. La présentation visuelle de cette partie du travail fut particulièrement

appréciée. On a noté que l'ozone affectait prioritairement la structure des organes responsables de la photosynthèse, c'est-à-dire les feuilles et les aiguilles des arbres. La perméabilité des membranes cellulaires serait surtout affectée; d'où possibilité et même probabilité d'une perte subséquente d'éléments nutritifs importants, possiblement par lessivage. Chez les arbres sensiblement affectés de dépérissement, des symptômes typiques de carences nutritives furent ultérieurement observés. Il n'y a donc ici qu'un pas à faire pour associer présence de symptômes dus à l'ozone et apparition ultérieure de carences minérales sur ces mêmes arbres.

Si l'ozone s'avère effectivement être une cause importante du dépérissement, la solution normale à envisager demeure la réduction à la source des oxydants précurseurs de l'ozone, c'est-à-dire les oxydes d'azote et les hydrocarbures. Ceci représente cependant une solution à long terme, car ces précurseurs d'ozone sont produits principalement lors de la combustion interne dans les moteurs des véhicules automobiles. Et il est à tout le moins présomptueux de croire à un changement rapide d'attitude de notre société face à son parc automobile.

L'autre suggestion donnée précédemment, soit de conserver un couvert forestier complet dans les érablières, pourra aussi avoir des effets préventifs contre l'ozone. Ce gaz, étant transporté avec les déplacements d'air, produira moins de dégâts s'il ne peut circuler librement dans le couvert forestier. Comme la concentration d'ozone dans l'air varie beaucoup d'une journée à l'autre, et comme seulement quelques heures à une concentration élevée suffisent à infliger des blessures aux plantes, une bonne couverture ou barrière foliaire pourrait empêcher l'entrée et la dispersion rapide de ce gaz dans un peuplement. Ceci pourrait occasionnellement faire la différence entre un peuplement très affecté ou peu affecté par une élévation temporaire et locale de la concentration d'ozone.

Sur une base à court et peut-être à moyen terme, il semble que les carences observées chez les arbres dépérissants puissent être partiellement corrigées par l'addition de certains éléments. Des expériences précises de fertilisation, exécutées par le Dr Bernier, semblent confirmer l'effet bénéfique et quasi spectaculaire de tels amendements. Ceci devient évidemment un autre élément important de solution à notre problème. Cette solution est cependant non permanente; elle permettra néanmoins de maintenir les arbres vivants durant un certain temps, même si la cause irritante primaire n'est pas contrôlée.

En plus des quelques éléments de solutions temporaires énoncés ci-dessus, je veux souligner aujourd'hui, des événements additionnels et récents qui auront probablement un effet tout aussi bénéfique sur le problème du dépérissement. Dans ces événements additionnels et récents j'inclus: 1) l'acceptation du rapport Davis-Lewis sur les précipitations acides par le Président Reagan des États-Unis; ceci place enfin ce problème

comme une réalité, du moins pour les Américains; 2) l'annonce faite par le Centre de foresterie des Laurentides, Service canadien des forêts, d'établir un projet de recherche précis sur ce problème du dépérissement des érablières au Québec; en conséquence, il y aura immédiatement plus de recherche au Québec sur ce problème, donc plus de connaissances nouvelles accumulées; 3) la sensibilisation particulière du public et des médias d'information à ce problème et à la recherche de solutions, tel que démontré par l'assistance nombreuse à cette journée d'information; ceci souligne l'urgence de s'attaquer et de résoudre ce problème; 4) la volonté exprimée par les autorités civiles de travailler à trouver des moyens et de supporter les efforts de recherches en vue de solutionner le plus rapidement possible ce problème du dépérissement des érablières; c'est de là que viendra le support moral et financier pour faire avancer la recherche dans le domaine.

Cette démonstration de solidarité du public, des autorités civiles et scientifiques et des chercheurs eux-mêmes à rechercher une ou des solutions au problème est sûrement l'élément actuel le plus stimulant et probablement le plus prometteur pour arriver le plus rapidement possible, d'abord à freiner la mortalité de nos érablières, puis ensuite de leur permettre de reprendre leur vigueur d'antan.

Discours de clôture

Conférence présentée le
8 mai 1986 lors de la
journée d'information
sur l'acériculture

Préparée par

François Gagnon, ing. f.
Ministère de l'Agriculture,
des Pêcheries et de l'Alimentation
du Québec
Saint-Joseph de Beauce

Le dépérissement dans les érablières est donc bien réel, il n'est plus permis d'en douter. Non seulement, les érables sont affectés, mais aussi la plupart des essences feuillues qui accompagnent habituellement l'érable. En ce qui concerne les résineux, au Québec, il n'y a pas encore d'évidence, mais les soupçons se font de plus en plus nombreux. Déjà comme nous le rapportait le plus récent feuillet «Insectes et maladies des arbres au Québec» publié en mars 1986, on a observé sur les résineux, compris dans le triangle le plus affecté par le dépérissement dans les érablières, des symptômes que l'on n'a pu encore relier à des maladies ou des insectes connus. A y penser, c'est sérieux, c'est apeurant, on aime mieux ne pas y croire.

Qu elle est la source du dépérissement de nos forêts. Bien que plusieurs facteurs naturels contribuent, il est de plus en plus admis que les pollutions atmosphériques jouent un rôle dominant en tant que «stresseur» permanent. Attention, il ne faut pas restreindre le terme pollution atmosphérique aux seules pluies acides généralement associées aux grosses industries. L'apport de la pollution automobile, de la pollution d'origine domestique semble tout aussi important. Il faut donc que la réduction de la pollution devienne un objetif prioritaire non seulement pour les autres, mais pour chacun d'entre nous. Dès à présent, il est urgent de se conscientiser et d'agir parce que la réduction de la pollution ne deviendra réellement effective qu'à long terme et grâce à un travail collectif. La forêt d'ordinaire si patiente ne peut plus attendre que soient réduites à la source toutes les formes de pollution. En attendant les premiers effets de ces mesures qui risquent de n'apparaître qu'après de nombreuses années, il est hautement souhaitable de sauver le plus possible de forêts légèrement atteintes, d'augmenter leur vitalité et leur productivité en améliorant site après site leur condition de nutrition, en tenant compte des résultats, des expérimentations et des contingences économiques.

L'ampleur des dégâts nous pousse à être extrêmement vigilants face à un phénomène très complexe qui ouvre à la recherche un champ très vaste. Il est nécessaire d'accumuler le maximum de données relatives au processus de dépérissement. Il devient quasi nécessaire d'obtenir des mesures précises du niveau des polluants, minéraux et organiques. La surveillance de parcelles-témoins sur plusieurs sites, des études de sols et la mise en place de fertilisation en grandes parcelles devront être poursuivies et amplifiées. Il faudra envisager l'étude en milieu contrôlé de l'action des principaux polluants et de leurs interactions entre eux et avec les radiations ultra-violet surtout au niveau physiologique et biochimique. Il serait aussi pertinent qu'une analyse soit faite en regard des divers facteurs climatiques pouvant favoriser une élévation du niveau des polluants.

Pour terminer, je voudrais féliciter et remercier tous les conférenciers pour leur participation et la qualité de leur intervention. Merci également au Ministre délégué aux Forêts et au Ministre de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation qui nous ont honoré de leur présence. Vous tous de l'assistance, que vous soyez administrateur, gestionnaire, intervenants en agriculture ou en foresterie, représentant d'organisme, représentants de producteurs ou de propriétaires de boisé, représentants des médias, représentants des municipalités et tout autre participant, je vous remercie de votre participation et de votre intérêt soutenu pendant cette journée. Merci spécialement aux membres

du comité d'organisation qui par leurs conseils et leur collaboration m'ont facilité la tâche de président. Enfin, je me dois de souligner la participation de la Société Coopérative «Les Producteurs de sucre d'érable du Québec» qui commandite le sirop d'érable contenu dans le cocktail à l'érable que je vous invite à déguster immédiatement.

En cas de non-livraison — Port de retour garanti

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE
DES PÊCHERIES ET DE L'ALIMENTATION
DU QUÉBEC
200-A, CHEMIN SAINTE-FOY, QUÉBEC — G1R 4X6

Canada Post / Postes Canada
Postage paid / Port payé
Third / Troisième
class / classe
Permis No. 3468
Québec, Qué.

Gouvernement du Québec
Ministère de l'Agriculture,
des Pêcheries et de l'Alimentation

IMPRIMÉ AU QUÉBEC, Canada